



TUGAS AKHIR - TF 141581

**OPTIMISASI *MAINTENANCE COST* PADA  
*RELIABILITY CENTERED MAINTANANCE*  
DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO DI  
SISTEM BOILER *FEEDWATER* UNIT 3 PT PJB UP  
GRESIK**

ZAMIR ALFAJARI  
NRP 02311440000027

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018





*FINAL PROJECT - TF 141581*

***OPTIMIZATION OF MAINTENANCE COST ON  
RELIABILITY CENTERED MAINTANANCE USING  
PSO ALGORITHM IN BOILER FEEDWATER  
SYSTEM UNIT 3 PT PJB UP GRESIK***

ZAMIR ALFAJARI  
NRP 02311440000027

*Supervisor*  
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc.

*DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018*



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zamir Alfajari

NRP : 02311440000027

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul *Optimisasi Maintenance Cost Pada Reliability Centered Maintenance* Dengan Menggunakan Algoritma PSO Di Unit 3 PT PJB UP Gresik adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 18 Juli 2018

Yang membuat pernyataan,



Zamir Alfajari

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**OPTIMISASI MAINTENANCE COST PADA RELIABILITY  
CENTERED MAINTENANCE DENGAN MENGGUNAKAN  
ALGORITMA PSO DI SISTEM BOILER FEEDWATER  
UNIT 3 PT PJB UP GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**Zamir Alfajari**

**NRP : 02311440000027**

**Surabaya, 18 Juli 2018**

**Mengetahui**

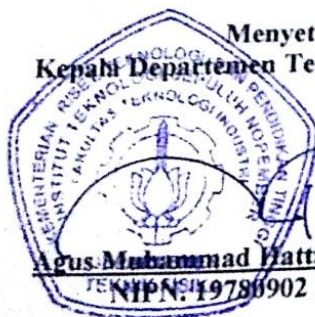
**Dosen Pembimbing**

**Dr. Ir. Ali Musvafa', MSc**

**NIPN. 19600901 198701 1 001**

**Menyetujui,**

**Kepala Departemen Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**

**NIPN. 19780902 200312 1 002**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LEMBAR PENGESAHAN

### **OPTIMISASI MAINTENANCE COST PADA RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO DI SISTEM BOILER FEEDWATER UNIT 3 PT PJB UP GRESIK**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ZAMIR ALFAJARI**  
**NRP. 023114000027**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc ..... (Pembimbing 1)
2. Dr. Imam Abadi, ST, MT ..... (Ketua Penguji)
3. Ir. Ronny Dwi Noriyati, Mkes ..... (Penguji 1)

**SURABAYA  
JULI, 2018**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **OPTIMISASI *MAINTENANCE COST* PADA *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO DI SISTEM BOILER *FEEDWATER* UNIT 3 PT PJB UP PAITON**

**Nama Mahasiswa** : Zamir Alfajari  
**NRP** : 02311440000027  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc

## **Abstrak**

PJB Gresik merupakan tulang punggung kelistrikan yang ada di Jawa Bali. Sangat penting untuk menjaga *plant* agar tetap terus beroperasi salah satunya sistem boiler *feedwater*. Maka penting untuk menganalisa keandalan pada sistem guna meningkatkan performansi. Analisa *reliability* merupakan salah satu metode yang banyak digunakan. Selain itu optimasi keandalan juga menjadi salah satu opsi rekomendasi yang tepat dalam peningkatan keandalan. Langkah pertama yakni studi literatur. Kedua yakni mengidentifikasi sistem serta mengumpulkan data. Kemudian menganalisa secara kuantitatif dan kualitatif yang dilanjutkan dengan perhitungan *maintenance cost*. Yang terakhir yakni melakukan optimasi dengan menggunakan algoritma PSO. Setelah dilakukan perhitungan didapatkan hasil ialah pada  $T=2$  sequence  $R_{total}$  pada sistem boiler *feedwater* sebesar 0,569784 dan hasil optimasi menunjukkan bahwasannya algoritma PSO telah berhasil menghemat biaya *maintenance* sebesar \$683.545,41 dalam perhitungan 5 tahun *maintenance cost*.

**Kata Kunci** : *Reliability*, Optimasi, Algoritma PSO

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**OPTIMIZATION OF MAINTENANCE COST ON  
RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE USING PSO  
ALGORITHM IN BOILER FEEDWATER SYSTEM UNIT 3  
PT PJB UP GRESIK**

**Name** : Zamir Alfajari  
**NRP** : 0231144000027  
**Department** : Engineering Physics FTI-ITS  
**Supervisor** : Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc

***Abstract***

*PJB Gresik is the backbone of electricity in Java and Bali. It is important to keep the plant running. one of the important system is feedwater boiler systems. So it is important to analyze the reliability of the system to improve performance. Reliability analysis is one of the most widely used methods. In addition, reliability optimization is also one of the recommended options in improving reliability. The first step is study literature. The second is to identify the system and collect the data. Then analyze the quantitative and qualitative followed by the calculation of maintenance cost. Finally is doing the optimization by using PSO algorithm. After calculation, the result is at  $T=2$  sequence  $R_{total}$  in feedwater boiler system 0,569784 and the optimization result shows that PSO algorithm has saved the maintenance cost of \$683.545,41 in the calculation of 5 years maintenance cost.*

***Key Words*** : Reliability, Optimation, PSO Algorithm

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena rahmat dan hikmat-Nya sehingga penulis diberikan kesehatan, kemudahan, dan kelancaran dalam menyusun laporan tugas akhir yang berjudul:

### **“OPTIMISASI *MAINTENANCE COST* PADA *RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE* DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA PSO DI SISTEM BOILER *FEEDWATER* UNIT 3 PT PJB UP GRESIK”**

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S-1 Teknik Fisika FTI-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Ali Musyafa', MSc selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan bimbingan dan semangat pada penulis.
2. Agus M. Hatta, S.T., M.Si., Ph.D. selaku ketua Departemen Teknik Fisika - ITS.
3. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Abdul Aziz dan Dhuriyatun Muyasaroh selaku orang tua penulis serta segenap keluarga besar penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk penulis.
5. Pak akhidin dan pak Udin selaku pembimbing di PJB UP Gresik yang sabar memberikan serta menjelaskan data yang diperlukan.
6. Teman-teman Departemen Teknik Fisika – ITS dan teman-teman seperjuangan TA yang senantiasa memberikan motivasi dan bantuan dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pihak yang membacanya.

Surabaya, 18 Juli 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
Abstrak .....	xi
<i>Abstract</i> .....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL .....	xxi
DAFTAR NOTASI .....	xxi
BAB I .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Lingkup Kajian.....	3
BAB II .....	5
2.1 <i>Feed Water System</i> .....	5
2.2 <i>Reliability</i> .....	6
2.3 <i>Avaibility</i> .....	7
2.4 <i>Maintainability</i> .....	8
2.5 <i>Failure Rate</i> .....	9
2.6 <i>Diagram control</i> .....	9
2.7 <i>Confidence Level</i> .....	10
2.8 <i>Reliability Centered Maintenance</i> .....	12
2.9 <i>System Function and Functional Failure</i> .....	13
2.10 <i>Failure Mode And Effect Analysis</i> .....	14
2.11 <i>Proactive Task and Initial Interval</i> .....	16
2.12 <i>Maintenance Cost</i> .....	19
2.13 <i>Pemodelan Sistem</i> .....	19
2.13 <i>Particle Swarm Optimization</i> .....	21
BAB III .....	25
3.1 Studi Literatur.....	26
3.2 Identifikasi sistem <i>boiler feedwater</i> .....	26
3.3 Pengumpulan data <i>maintenance sistem boiler feedwater</i> ...	28

3.4 Pengolahan data .....	28
3.4.1 Kuantitatif .....	28
3.4.2 Kualitatif .....	31
3.5 Perhitungan <i>Maintenance Cost</i> actual .....	33
3.6 Optimasi <i>maintenance cost</i> dengan PSO .....	34
BAB IV .....	39
4.1 Analisis Kuantitatif .....	39
4.2 Analisis Kualitatif .....	64
4.3 Perhitungan Biaya Operasional .....	75
4.4 Optimasi <i>Maintenance Cost</i> .....	78
BAB V .....	85
5.1 Kesimpulan .....	85
5.2 Saran .....	85
DAFTAR PUSTAKA .....	87
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Bathup curve</i> [10] .....	17
Gambar 2. 2 Gambar dengan <i>increasing failure rate</i> [9] .....	19
Gambar 2. 3 Sistem dengan <i>decreasing Failure Rate</i> . [9] .....	19
Gambar 2. 4 Konfigurasi Seri [9] .....	21
Gambar 2. 5 Konfigurasi Paralel [9] .....	21
Gambar 2. 6 <i>Flow chart</i> standar PSO.....	22
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian .....	25
Gambar 3. 2 PnID sistem <i>feedwater</i> .....	27
Gambar 3. 3 Contoh diagram <i>control chart</i> .....	30
Gambar 3. 4 RCM <i>Decision diagram</i> [14]......	31
Gambar 3. 5 Tampilan software matlab .....	34
Gambar 3. 6 Kolom <i>script</i> tempat <i>coding-an</i> pada matlab.....	35
Gambar 3. 7 Tombol <i>run</i> untuk menjalankan program.....	35
Gambar 4. 1 <i>Control chart</i> sistem <i>level</i> deaerator kontrol .....	39
Gambar 4. 2 <i>Reliability</i> sistem kontrol <i>level</i> deaerator .....	40
Gambar 4. 3 <i>Avaibility</i> sistem kontrol <i>level</i> deaerator .....	42
Gambar 4. 4 <i>Maintainability</i> sistem kontrol <i>level</i> deaerator .....	42
Gambar 4. 5 <i>Control chart</i> sistem <i>pressure</i> deaerator kontrol ....	43
Gambar 4. 6 <i>Reliability</i> sistem kontrol <i>pressure</i> deaerator .....	44
Gambar 4. 7 <i>Avaibility</i> sistem kontrol <i>pressure</i> deaerator .....	46
Gambar 4. 8 <i>Maintainability</i> sistem <i>pressure</i> deaerator kontrol .....	46
Gambar 4. 9 <i>Control chart</i> sistem kontrol <i>level</i> <i>hotwell</i> .....	47
Gambar 4. 10 <i>Reliability</i> sistem kontrol <i>level</i> <i>hotwel</i> .....	48
Gambar 4. 11 <i>Avaibility</i> sistem kontrol <i>level</i> <i>hotwell</i> .....	50
Gambar 4. 12 <i>Maintainability</i> sistem <i>level</i> <i>hotwell</i> kontrol .....	50
Gambar 4. 13 <i>Control chart</i> sistem kontrol <i>min flow</i> CEP .....	51
Gambar 4. 14 <i>Reliability</i> sistem kontrol <i>min flow</i> CEP.....	52
Gambar 4. 15 <i>Avaibility</i> sistem kontrol <i>min flow</i> CEP.....	54
Gambar 4. 16 <i>Maintanability</i> sistem <i>min flow</i> CEP kontrol.....	54
Gambar 4. 17 <i>Control chart</i> sistem kontrol <i>min flow</i> BFP.....	55
Gambar 4. 18 <i>Reliability</i> sistem kontrol <i>min flow</i> BFP.....	56
Gambar 4. 19 <i>Avaibility</i> sistem kontrol <i>min flow</i> BFP.....	58
Gambar 4. 20 <i>Maintainability</i> sistem <i>min flow</i> kontrol BFP.....	58
Gambar 4. 21 <i>Control chart</i> sistem kontrol <i>level</i> <i>steam drum</i> ....	59
Gambar 4. 22 <i>Reliability</i> sistem <i>level</i> <i>steam drum</i> .....	60

Gambar 4. 23 *Avaibility* sistem kontrol *level steam drum*.....62

Gambar 4. 24 *Maintainability* sistem kontrol *level steam drum* .62

Gambar 4. 25 *Reliability Block Diagram* sistem *boiler feedwater*  
.....63

Gambar 4. 26 Hasil Optimasi PSO berdasarkan COP total  
minimum.....80

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data referensi harga <i>maintenance</i> [20] .....	33
Tabel 4. 1 Lamda sistem <i>level</i> deaerator kontrol.....	40
Tabel 4. 2 Lamda sistem <i>pressure</i> deaerator kontrol .....	44
Tabel 4. 3 Lamda sistem kontrol <i>level hotwell</i> .....	47
Tabel 4. 4 lamda sistem kontrol <i>min flow</i> CEP .....	51
Tabel 4. 5 Lamda sistem kontrol <i>min flow</i> BFP .....	55
Tabel 4. 6 Lamda sistem <i>level steam drum</i> kontrol.....	59
Tabel 4. 7 FMEA sistem kontrol <i>level</i> deaerator.....	64
Tabel 4. 8 <i>Decision Worksheet</i> sistem kontrol <i>level</i> deaerator....	66
Tabel 4. 9 FMEA sistem kontrol <i>pressure</i> deaerator .....	66
Tabel 4. 10 <i>Decision worksheet</i> sistem kontrol <i>pressure</i> deaerator .....	67
Tabel 4. 11 FMEA sistem kontrol <i>level hotwell</i> .....	68
Tabel 4. 12 <i>Decision worksheet</i> sistem kontrol <i>level hotwell</i> .....	69
Tabel 4. 13 FMEA sistem kontrol <i>min flow</i> CEP .....	71
Tabel 4. 14 <i>Decision worksheet</i> sistem kontrol <i>min flow</i> CEP....	71
Tabel 4. 15 FMEA <i>Min flow</i> BFP .....	72
Tabel 4. 16 <i>Decision worksheet</i> sistem kontrol <i>min flow</i> BFP....	73
Tabel 4. 17 FMEA sistem kontrol <i>steam drum</i> .....	74
Tabel 4. 18 <i>Decision Worksheet</i> sistem kontrol <i>steam drum</i> .....	75
Tabel 4. 19 Rekapian Biaya <i>Maintenance</i> .....	78
Tabel 4. 20 Perbandingan sistem <i>feedwater</i> sebelum dan sesudah optimasi .....	81

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR NOTASI

$R(t)$	: <i>Realibility function</i>
$F(t)$	: <i>Cumulative Distribution Function</i> (CDF)
$f(t)$	: <i>Probability Density Function</i> (PDF)
$M(t)$	: <i>Maintenability function</i>
$A(t)$	: <i>Avaibility function</i>
$f$	: banyaknya kegagalan dalam satuan waktu operasi
$T$	: total waktu operasi
$t$	: waktu (variabel)
$\mu$	: rata-rata
$\sigma$	: simpangan baku
$\beta$	: parameter bentuk ( <i>shape</i> parameter)
$\eta$	: parameter skala ( <i>scale</i> parameter)
$\gamma$	: parameter lokasi ( <i>location</i> parameter)
$\bar{x}$	Rata-rata $x$
$x_i$	Data $x$ ke $i$
$n$	: jumlah data
$R_m(t)$	: <i>Reliability cumulative</i>
$C_{OP}$	: <i>Operational cost</i>
$N$	: Jumlah instrumen/peralatan
$C_{PM}$	: <i>Preventive maintenance cost</i>
$C_T$	: <i>Test cost</i>
$C_{CM}$	: <i>Corrective maintenance cost</i>
$\lambda_T$	: <i>Total failure rate</i>
$M$	: Frekuensi <i>maintenance</i> tiap komponen
$T_i$	: <i>Time interval</i>
$R_P$	: <i>Reliability</i> paralel
$R_S$	: <i>Reliability</i> seri
$v_i^k$	: kecepatan partikel $i$ pada iterasi $k$
$\omega$	: fungsi pemberat ( <i>inertia</i> )
$c_{1,2}$	: faktor pembelajaran kognitif dan sosial
$rand_{1,2}$	: nilai acak antara nol (0) dan satu (1)
$pbest$	: nilai terbaik dari partikel $i$
$gbest$	: nilai $pbest$ terbaik dari kawanan
$\omega_{max}$	: nilai pemberat ( <i>inertia</i> ) awal

$\omega_{min}$  : nilai pemberat (*inertia*) akhir  
 $itermax$ : jumlah iterasi maksimal  
 $iter$  : jumlah iterasi terakhir  
 $S_i^{k+1}$  : posisi partikel terkini  
 $S_i^k$  : posisi partikel sebelumnya  
 $v_i^{k+1}$  : kecepatan partikel terkini



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT PJB UP Gresik merupakan pembangkit terbesar yang menghasilkan listrik di Indonesia. PT PJB UP Gresik memiliki dua unit pembangkit listrik dengan tipikal PLTU dan PLGU. Untuk PLTU PJB UP Gresik memiliki 4 unit yakni unit 1 dan 2 dengan kapasitas 400 MW dan unit 3 dan 4 dengan kapasitas 800 MW dengan total kapasitas sebesar 1200 MW. Dengan 4 unit tersebut PT PJB UP Gresik menjadi tulang punggung kelistrikan yang ada di Jawa Bali. Dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar batu bara, setiap tahunnya PT PJB UP Gresik menghasilkan listrik rata-rata 5.606,18 GWh yang ditransmisikan melalui *Extra High Voltage* 500 kV ke sistem interkoneksi Jawa, Madura dan Bali [1].

PLTU Gresik merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan uap yang dipanaskan, untuk menggerakkan generator. Peralatan utama PLTU Gresik adalah Boiler, turbin, generator, transformator, kondenser, *ash handling*, *coal handling* dan *water treatment plant*. Selain peralatan utama proses produksi, ada juga peralatan-peralatan pendukung yang fungsinya juga sangat penting, diantaranya adalah komponen pada sistem boiler *feedwater*. Mahalnya proses pengolahan air yang akan menjadi bahan baku untuk steam pada boiler menuntut manajemen PT PJB UP Gresik mencari cara untuk meminimalisir biaya produksi. Salah satunya yakni dengan memanfaatkan *steam* dari proses utama. *Steam* yang telah digunakan untuk menggerakkan turbin kemudian diproses kembali untuk dijadikan bahan baku proses PLTU. Steam dikondensasikan di dalam kondenser dengan media pendingin air laut dan dialirkan oleh BFP (*Boiler Feedwater Pump*) menuju boiler. Begitu seterusnya dan siklus tersebut berulang-ulang kembali.

Namun dalam masa produksinya sering kali sistem boiler *feedwater* mengalami *error* yang terjadi atau mengalami kerusakan, padahal peran dari sistem *feedwater* ini sangatlah krusial sebagai bahan baku utama penggerak turbin guna

menghasilkan listrik. Jika kegagalan pada sistem *feedwater* terjadi, tentunya akan mengakibatkan gangguan aktivitas proses pada mesin. Imbasnya hal ini menjadi kerugian yang sangat besar bagi perusahaan baik dari hilangnya asset perusahaan, kerusakan luas terhadap lingkungan, membahayakan para pekerja dan tentunya juga bisa menyebabkan *downtime* yang berimbas pada *loss production cost* [2]. Bagaimanapun juga, ketika komponen pada sebuah sistem rusak hal ini mengarah pada hal yang buruk seperti meningkatnya tekanan, suhu, kelembapan dll yang berakibat juga pada rusaknya komponen lain yang berada disekitarnya. Sewaktu-waktu hal ini dapat menyebabkan hasil dari sebuah sistem memburuk karena meningkatkannya tingkat kegagalan rata-rata sitem [3] [4] [5]. Maka dari itu, penting bagi PT PJB UP Gresik untuk menjaga keandalan dari komponen-komponenya dalam hal ini pada sistem *boiler feedwater* agar efisiensi yang diharapkan bisa tercapai.

Selain itu di era moderen seperti ini, industri di dunia berlomba lomba untuk mendapatkan *profit* sebesar-besarnya termasuk juga pada PLTU Gresik. Pengeluaran *maintenance cost* terendah dan kualitas *maintenance* yang baik merupakan upaya optimisasi untuk mendapatkan *profit* yang maksimum, tentunya dengan analisa data *Reliability*, *avaibility*, *maintainability* dari sebuah komponen. Beberapa jurnal telah melakukan analisa RAM pada komponen di sebuah PLTU untuk meningkatkan kualitas produksi [6] [7]. Salah satu metode yang biasa digunakan untuk mendapatkan *maintenance cost* terendah dan kualitas *maintenance* yang baik adalah RCM (*Reliability Centred Maintenance*). RCM merupakan metode yang banyak digunakan untuk mengoptimalkan tugas preventive maintenance untuk peralatan dinamis. Dalam penelitian sebelumnya [8], komponen dalam sebuah perusahaan di analisa menggunakan evaluasi kuantitatif dan kualitatif dengan menggunakan RCM dan telah terbukti mengoptimalkan kualitas *maintenance* dan meminimalkan *maintenance cost*. Namun masih jarang dilakukan optimasi dengan berdasarkan pemilihan komponen .

Agar dapat mengoptimisasi hasil dari RCM, peneliti mencoba mengoptimasi menggunakan algoritma dan dengan

harapan didapatkan nilai *maintenance cost* yang paling optimal menggunakan algoritma PSO sebagai tools untuk optimisasi. Metode PSO merupakan metode optimasi *artificial intelligence* yang mengadopsi perilaku sosial kawanan burung atau ikan yang mengejar mangsanya atau makanannya. Strategi terbaik yang mereka lakukan untuk menemukan makanan itu adalah dengan cara mengikuti burung yang terdekat dengan makanan tersebut [9]. Struktur algoritma yang sederhana dan tingkat konvergensi yang cepat, yang hanya dikendalikan oleh beberapa parameter, menjadikan algoritma optimasi berbasis populasi ini mulai banyak digunakan oleh para peneliti dari kalangan akademisi maupun industri. Dengan menggunakan metode PSO memungkinkan untuk mendapatkan keseimbangan antara *reliability* dan *maintenance cost* dengan hasil yang seminimal mungkin. Oleh karena itu, diharapkan optimasi ini akan menjadi sebuah rekomendasi yang bermanfaat bagi PT PJB Gresik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang diambil dalam Tugas Akhir ini antara lain

- a. Bagaimana menganalisis nilai RAM pada sistem *boiler feedwater* unit 3 PT PJB unit pembangkitan Gresik?
- b. Bagaimana mendapatkan hasil dan nilai *maintenance cost* yang optimal pada sistem *boiler feedwater* unit 3 PT PJB unit pembangkitan Gresik?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya tugas akhir ini antara lain

- a. Menganalisis nilai RAM pada sistem *boiler feedwater* unit 3 PT PJB unit pembangkitan Gresik?
- b. Mendapatkan hasil dan nilai *maintenance cost* yang optimal pada sistem *boiler feedwater* unit 3 PT PJB unit pembangkitan Gresik?

## 1.4 Lingkup Kajian

Adapun lingkup kajian pada tugas akhir ini antara lain objek penelitian adalah sistem *boiler feedwater* meliputi deaerator, BFP

dan HPH yang berada pada PT PJB UP Gresik unit 3 dan 2. Pengambilan data yang dilakukan meliputi PFD (*Process Flow Diagram*), P&ID, data variabel proses selama 15 hari dengan rentang waktu 15 menit sekali pada sistem *boiler feedwater*. Fungsi objektif yang dioptimisasi adalah nilai *maintenance cost* ( $C_{OP}$ ) dengan variabel optimisasi nilai *failure rate* ( $\lambda_T$ ) dan *time interval* ( $T_i$ ). Teknik optimisasi yang digunakan adalah metode stokastik yakni *Particle Swarm Optimization*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Feed Water System*

*Feed Water System* adalah suatu sistem yang ada apada PLTU secara umum yang berfungsi memberi masukan pada steam drum untuk membuat uap air sebagai penggerak turbin. Sumber *feed water* berasal dari sumber air permukaan pada saat start up dan menggunakan air hasil kondensasi setelah beberapa saat plant telah berjalan. Hal ini dimaksudkan untuk menghemat biaya operasional dari *power plant* itu sendiri. Secara umum proses yang berlangsung pada *feedwater system* adalah untuk meminimalkan kandungan *dissolved oxygen* pada *feedwater* serta menaikkan suhu serta *pressure* agar sesuai dengan *set point* yang diharapkan pada *steam drum*. Dalam PLTU 3 Gresik *equipment* penyusun *feedwater* sistem meliputi *condenser*, CEP (*condensate extraction pump*), LPH (*Low pressure Heater*), Deaerator, BFP (*boiler feedwater pump*), HPH (*High pressure heater*) dan *economizer*. Namun pada penelitian tugas akhir ini skup yang menjadi objek penelitian adalah sistem kontrol yang ada pada daerah sistem *feedwater* dikarenakan keterbatasan waktu dari peneliti serta hal tersebut menjadi bahasan yang umum di teknik fisika.

Deaerator merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk meminimalkan kandungan *dissolved oxygen* dengan memanfaatkan *bled steam* dari HP (*High Pressure*) turbine. Pada deaerator terdapat dua macam pengendalian yakni *level* dan *pressure*. *Level* akan dikendalikan dengan aktuator yang berada pada daerah *inlet* LPH dengan harapan bisa membatasi aliran yang masuk pada deaerator. Sedangkan pengendalian *pressure* dilakukan dengan mengatur masukan *pegging steam* oleh *Pressure valve*. Setelah melalui deaerator, *equipment* selanjutnya yakni adalah BFP yang berfungsi memompa *feedwater* menuju *steam drum*. Pada BFP terdapat pengendalian *flow* untuk mencegah kerusakan pada deaerator yakni sitem *minimal flow*. Jika *flow* pada outlet BFP tidak mencapai *set point* maka sistem *minimal flow* akan aktif untuk mencegah kerusakan. Dan

*equipment* yang terakhir yakni HPH yang berfungsi untuk memanaskan *feed water* agar mengefisiensikan kerja dari steam drum agar tidak terlalu boros. Cara kerjanya dengan memanfaatkan *steam* sisa yang berasal dari HP *turbine* panasnya akan dimanfaatkan untuk memanaskan *feed water* dengan konsep *heat exchanger*. Pada HPH ini terdapat sistem pengendalian *level* HPH yang berasal dari *blead steam* yang terkondensasi yang akan mengurangi efektifitas dari HPH sehingga air yang terkondensasi akan di alirkan menuju kondenser atau deaerator.

## 2.2 Reliability

*Reliability* atau keandalan merupakan kemungkinan dari suatu komponen atau sistem untuk dapat beroperasi atau melaksanakan fungsinya [10]. Fungsi tersebut telah ditetapkan pada kondisi pengoperasian tertentu dan dalam lingkungan tertentu untuk periode waktu yang telah ditentukan pula. Jadi, keandalan adalah kemungkinan untuk tidak mengalami kegagalan atau dapat melaksanakan fungsinya selama periode waktu (t) atau lebih. Keandalan komponen, subsistem atau sistem produksi merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kesuksesan proses produksi. Evaluasi keandalan dapat membantu dalam memperkirakan peluang sebuah sistem atau komponen untuk dapat melaksanakan fungsinya dalam jangka waktu tertentu dan dalam kondisi tertentu pula. Sistem atau komponen masih dapat beroperasi walaupun tidak dapat memenuhi fungsinya secara maksimal [11]. Evaluasi keandalan ada beberapa yang harus diperhatikan, antara lain sebagai berikut [12].

- a. Kegagalan dari komponen maupun sistem harus jelas dan dapat diobservasi.
- b. Waktu kegagalan dapat diidentifikasi.
- c. Pada saat kondisi normal, performansinya dapat diobservasi dengan jelas.

Nilai fungsi *reliability* merupakan nilai probabilitas, maka nilai fungsi *reliability* (R) bernilai  $0 \leq R \leq 1$  [10]. Fungsi *reliability* dinotasikan sebagai R(t) dari sistem jika dipakai selama t satuan waktu. Probabilitas sistem dapat berfungsi dengan baik selama pemakaian [0,t]. Parameter yang akan diukur di dalam

pengolahan data yaitu laju kegagalan komponen. Parameter tersebut merupakan variable *random* yang dapat didefinisikan secara kontinyu. Perhitungan nilai keandalan secara umum, menggunakan persamaan berikut ini [10].

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_0^{\infty} f(t)dt \quad (2.1)$$

a. Distribusi normal

$$R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right) \quad (2.2)$$

b. Distribusi lognormal

$$R(t) = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(t-\mu)}{\sigma}\right)^2\right] dt \quad (2.3)$$

c. Distribusi weibull

- Dua parameter :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.4)$$

- Tiga parameter

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2.5)$$

d. Distribusi eksponensial

$$R(t) = e^{-\lambda(t\gamma)} \quad (2.6)$$

### 2.3 Availability

*Availability* adalah kemungkinan sebuah komponen untuk menjalankan fungsinya (dengan berbagai aspek keandalan, kemampurawatan, dukungan perawatan). *Availability* yang berubah terhadap waktu mempunyai persamaan berikut [10].

$$A(t) = \left[ \left( \frac{\mu}{\lambda + \mu} \right) + \left( \left( \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \right) \exp(-(\lambda + \mu)t) \right) \right] \quad (2.7)$$

## 2.4 Maintainability

*Maintainability* merupakan kemampuan suatu komponen yang rusak untuk diperbaiki pada keandalan semula dalam kurun waktu tertentu, sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan. *Maintenability* sangat erat kaitannya dengan MTTR. *Maintainability* mempunyai rumus yang berbeda-beda pada setiap distribusi tergantung dari datanya [10]. Nilai *maintenability* dapat ditulis seperti persamaan berikut ini:

a. Distribusi normal

$$M(t) = \varphi \left( \frac{t - \mu}{\sigma} \right) \quad (2.8)$$

b. Distribusi lognormal

$$M(t) = \frac{1}{\sigma t \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{\ln(t - \mu)}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

c. Distribusi weibull

- Dua parameter :

$$M(t) = 1 - \exp \left[ -\left( \frac{t}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.10)$$

- Tiga parameter

$$M(t) = 1 - \exp \left[ -\left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^\beta \right] \quad (2.11)$$

d. Distribusi eksponensial

$$M(t) = 1 - e^{-\left( \frac{t}{MTTR} \right)} \quad (2.12)$$



## 2.5 Failure Rate

Laju kegagalan atau biasa yang disebut dengan Failure Rate merupakan banyaknya terjadi kegagalan per satuan waktu. Laju kegagalan dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi dalam selang waktu tertentu dengan total waktu operasi suatu komponen atau pun sistem. Laju kegagalan dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\lambda = \frac{f}{T} \quad (2.13)$$

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.14)$$

a. Distribusi normal

$$M(t) = \varphi \left( \frac{t-\mu}{\sigma} \right) \quad (2.15)$$

b. Distribusi lognormal

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.16)$$

c. Distribusi weibull

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\theta} \left( \frac{t-\gamma}{\theta} \right)^{\beta-1} \quad (2.17)$$

d. Distribusi eksponensial

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.18)$$

## 2.6 Diagram control

*Control chart* pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Walter Andrew Shewhart dari Bell Telephone Laboratories amerika serikat pada tahun 1924 [13]. *Control chart* adalah sebuah grafik yang memberi gambaran tentang perilaku sebuah proses. Sebuah proses yang cukup stabil, tapi berjalan di luar batas yang

diharapkan, harus diperbaiki untuk menemukan akar penyebabnya guna mendapatkan hasil perbaikan yang fundamental.

Diagram kontrol terdiri dari :

- a. Titik-titik yang mewakili sebuah ilai statistik (rata-rata, range, proporsi) dari sebuah karakteristik sampel yang diambil dari sebuah proses pada waktu yang berbeda (data).
- b. Rata-rata dari nilai statistik di atas yang dihitung dari keseluruhan sampel.
- c. Garis tengah yang digambar tepat diangka rata-rata nilai statistik tersebut.
- d. Standar *error* dari nilai statistik yang juga dihitung dari keseluruhan sampel.
- e. Batas kontrol atas dan bawah, yang mengindikasikan batas dimana secara statistik sebuah proses bisa dikatakan menyimpang, yang secara umum besarnya 3 kali standar eror dari garis tengah

Penggunaan diagram kontrol shewhart memiliki beberapa keuntungan [14], diantaranya yakni dapat menunjukkan variasi yang disebabkan oleh kerusakan alat-alat yang menyebabkan adanya pengaruh kondisi yang lebih buruk. Penyebab-penyebab ini biasanya dapat diketahui dan pada selanjutnya dapat dikoreksi dengan jalan memperbaiki mesin atau mengubah material.

Secara umum hal-hal yang dihitung adalah sebagai berikut :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.19)$$

$$\sigma = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 / (n - 1))} \quad (2.20)$$

## 2.7 Confidence Level

Setiap pengukuran pastilah mengandung sebuah kesalahan. Kesalahan sendiri dalam bahasa pengukuran bisa disebut sebagai ketidakpastian. Tanpa informasi ketidakpastian, hasil pengukuran tidak banyak artinya. Ketidakpastian membawa pemahaman yang

lebih baik akan proses pengukuran. Menentukan ketidakpastian sama halnya dengan membangun sebuah kepercayaan dan semakin kecil nilai ketidakpastian adalah semakin baik karena ketidakpastian adalah tentang perkiraan besarnya kesalahan, parameter yang berkaitan dengan hasil suatu pengukuran, dimana memiliki karakteristik nilai penyebaran layak untuk dituangkan dalam suatu pengukuran [15].

Besaran ketidakpastian tergantung dari banyaknya sumber-sumber ketidakpastian yang berperan. Diantara lain sumber ketidakpastian adalah standard dan referensi, alat bantu kerja, alat ukur, petugas/ pelaksana dan kondisi lingkungan disekitarnya. Ketidakpastian total, timbul dari beberapa faktor yang merupakan kontribusi dari penyebaran nilai-nilai yang bersifat reasonable dari suatu pengukuran yang kita lakukan [15].

Selain itu hal yang juga tak kalah pentingnya adalah tingkat kepercayaan dari sebuah data. Tingkat kepercayaan mengartikan bahwa kita percaya bahwa nilai pembacaan berada pada rentang tersebut. Untuk mendapatkan selang kepercayaan dengan tingkat kepercayaan tertentu secara teori ini sangat tergantung pada informasi sebaran (distribution) dari variabel yang mau diduga parameternya. Jika jumlah pengamatannya sangat banyak dan jelajahnya dibagi-bagi menjadi sejumlah besar kelas-kelas yang sangat sempit, maka dalam banyak hal kurva yang dihasilkan akan mendekati kurva baku yang dikenal sebagai kurva distribusi normal yang memiliki bentuk seperti lonceng.

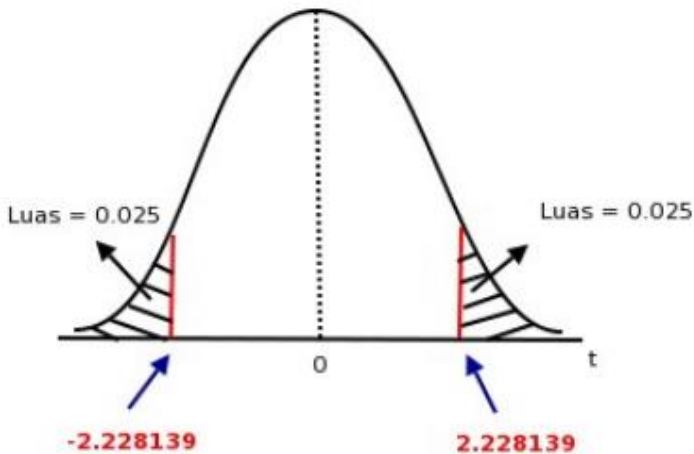
Tingkat kepercayaan sendiri membunyai nilai-nilai yang berbeda tergantung dari jangkauan standar deviasi yang digunakan. Rekapitan dari nilainya bisa dilihat ditabel 2.1.

Gambar 2.1 adalah salah satu gambaran dari tingkat kepercayaan pada tingkat kepercayaan 95%

**Tabel 2. 1** Tingkat kepercayaan berdasarkan range [15]

Range	Formula	Tingkat kepercayaan
1	$X + \sigma$	68%
2	$X + 2\sigma$	95%
3	$X + 3\sigma$	99%

Diantara dan luas daerah yang diarsir  $X+2\sigma$  dan  $X-2\sigma$  adalah 95% dari luas daerah seluruhnya, artinya 95% dari seluruh pengamatan akan jatuh diantara kedua harga ini.



**Gambar 2. 1** Daerah tingkat kepercayaan 95% [16]

## 2.8 *Reliability Centered Maintenance*

*Reliability Centered Maintenance* (RCM) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menentukan langkah apa yang harus dilakukan untuk menjamin suatu aset fisik. Harapannya agar aset tersebut dapat berjalan dengan baik dan terus memenuhi fungsi yang diharapkan oleh penggunaanya. Metode RCM digunakan untuk menganalisa fungsi komponen, jenis kerusakan yang terjadi, efek yang ditimbulkan akibat kerusakan, serta tindakan yang harus diberikan untuk mengantisipasi jenis kerusakan pada komponen kritis yang terdapat dalam suatu sistem.

Pada dasarnya penelitian RCM merupakan usaha untuk menjawab tujuh pertanyaan utama yang berkaitan dengan asset atau peralatan yang sedang diteliti. Ketujuh pertanyaan utama tersebut antara lain adalah [17].

- a. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari asset dalam konteks operasional pada saat ini (*system functions*)?

- b. Bagaimana asset tersebut rusak dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*)?
- c. Apa yang menyebabkan terjadinya kegagalan fungsi asset tersebut (*failure modes*)?
- d. Apa yang terjadi pada saat terjadi kerusakan (*failure effect*)?
- e. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut dapat terjadi (*failure consequences*)?
- f. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kerusakan tersebut (*proactive task and task interval*)?
- g. Apa yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak ditemukan (*default action*)?

Terdapat pula tahapan penyusunan *Reliability Centered Maintenance* (RCM), yaitu antara lain sebagai berikut :

- a. Fungsi sistem dalam konteks operasional (*system function*).
- b. Kegagalan aset dalam menjalankan fungsinya (*functional failure*).
- c. Penyebab terjadinya kegagalan fungsi (*failure modes*).
- d. Efek yang ditimbulkan apabila aset mengalami kegagalan (*failure effect*).
- e. Konsekuensi apabila kegagalan aset terjadi (*failure consequences*).
- f. Kegiatan yang dilakukan untuk memprediksi atau mencegah kegagalan (*proactive task and initial interval*).
- g. Kegiatan yang dilakukan apabila langkah proactive yang sesuai tidak ditemukan (*default action*).

## 2.9 System Function and Functional Failure

Pada metode RCM langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mendefinisikan fungsi dari setiap unit ataupun komponen yang beroperasi pada sistem tersebut (*system function*), terkait dengan standar kinerja yang diinginkan. Ekspektasi perusahaan

terhadap fungsi yang dapat dilakukan oleh komponen dapat dibagi ke dalam dua kategori, yaitu [17].

- a. Fungsi primer, merupakan penjelasan tentang alasan mengapa komponen tersebut sangat penting. Kategori ini mencakup hal-hal utama seperti kecepatan, output dari komponen, akurasi, kapasitas pembawaan, kapasitas penyimpanan dan kualitas produk.
- b. Fungsi sekunder, merupakan penjelasan tambahan dimana setiap komponen diharapkan dapat melakukan lebih dari fungsi utamanya. Kategori ini hal-hal seperti keamanan, kenyamanan, aspek ekonomi, pemenuhan standar regulasi lingkungan, efisiensi dan tampilan dari aset itu sendiri.

**Tabel 2. 2** Deskripsi *System Function and Functional Failure* [17]

<b><i>System Function</i></b>		<b><i>Functional Function</i></b>	
1	Untuk menyalurkan semua gas buang panas turbin tanpa pembatasan fixed point 10 meter di atas atap ruangan turbin.	A	Sama sekali tidak dapat meyalurkan gas.
		B	Aliran gas terbatas
		C	Gagal menampung gas
		D	Gagal mengalirkan gas sampai ke titik 10 meter di atas atap.
2	Untuk memastikan temperatur saluran permukaan di dalam ruang turbin tidak meningkat melebihi 60° C	A	Temperatur saluran permukaan melebihi 60° C

**Tabel 2. 2** Lanjutan

<b><i>System Function</i></b>		<b><i>Functional Function</i></b>	
3	Untuk mengurangi tingkat kebisingan gas buang ( <i>exhaust noise level</i> ) berdasarkan ISO <i>noise</i> rating 30 pada ketinggian 150 meter	A	Tingkat kebisingan melebihi ISO <i>noise</i> rating 30 pada ketinggian 150 meter

Selanjutnya, *functional failure* bertujuan untuk menjelaskan bagaimana sistem tersebut dapat mengalami kegagalan dalam melaksanakan *system function*. Dalam metode RCM, keadaan gagal diartikan sebagai kegagalan dari komponen dalam melakukan fungsinya. Hal tersebut berarti komponen tidak mampu memenuhi fungsi dari standar kinerja yang telah ditentukan perusahaan. Selain ketidakmampuan dalam menjalankan fungsinya, fungsi kegagalan juga meliputi kegagalan parsial, dimana komponen tetap berfungsi tetapi bukan pada performansi yang baik (*bad performance*) dan tingkat akurasi lebih rendah. Fungsi kegagalan ini hanya akan dapat diidentifikasi setelah fungsi dan standar kinerja dari komponen sudah ditetapkan. Deskripsi *system function* dan *functional failure* dicontohkan pada Tabel 2.2.

## **2.10 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan suatu teknik manajemen kegagalan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan suatu aset yang tidak mampu melaksanakan fungsinya sesuai dengan yang diharapkan oleh pengguna. *Failure mode* bertujuan untuk menentukan akar permasalahan dari kegagalan yang terjadi, sedangkan *failure effect* menjelaskan dampak yang diakibatkan apabila *failure mode* telah terjadi. Proses identifikasi terhadap fungsi, *failure mode*, dan *failure effect* sangat penting untuk dilakukan karena dapat menentukan perbaikan performansi

suatu aset. Efek kegagalan tingkat lokal akan menyebabkan komponen tidak memenuhi fungsinya dengan baik. Deskripsi *failure mode* dan *failure effect* dicontohkan pada Tabel berikut ini [17].

**Tabel 2. 3** Deskripsi Failure Mode and Failure Effect [17]

Failure Mode		Failure Effect
1	<i>Gear teeth stripped</i>	Motor tidak berhenti tetapi mesin berhenti. Dibutuhkan waktu 3 jam ( <i>downtime</i> ) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. Persiapan penggantian gear yang baru dilakukan di <i>workshop</i> .
2	Kemacetan pada <i>gearbox bearing</i>	Motor berhenti dan alarm berbunyi di <i>control room</i> . Dibutuhkan waktu 3 jam ( <i>downtime</i> ) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. Persiapan penggantian bearing yang baru dilakukan di <i>workshop</i> .
3	<i>Gearbox</i> macet karena kekurangan oli	Motor berhenti dan alarm berbunyi di <i>control room</i> . Dibutuhkan waktu 3 jam ( <i>downtime</i> ) untuk mengganti <i>gearbox</i> yang macet dengan cadangan. <i>Gearbox</i> yang macet akan dibuang.

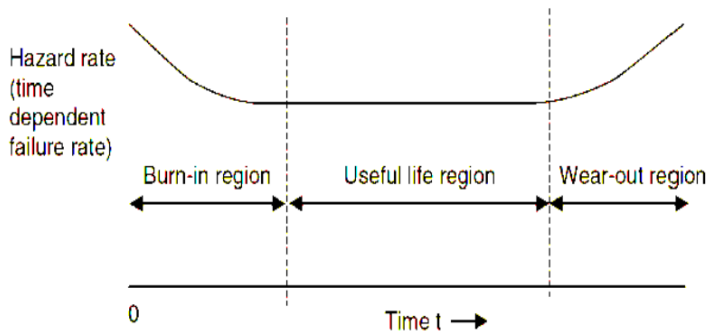
### 2.11 Proactive Task and Initial Interval

*Proactive Task and Initial Interval* dilakukan sebelum terjadi kegagalan untuk menghindari sistem atau komponen dari



kondisi yang dapat menyebabkan kegagalan. Kegiatan ini biasa dikenal dengan pemeliharaan (*maintenance*).

*Bathtub curve* adalah salah satu konsep yang dapat dijadikan acuan untuk menentukan bentuk *maintenance* yang sesuai untuk suatu sistem atau komponen berdasarkan jenis laju kegagalannya yang berubah terhadap waktu. Pada *bathtub curve*, suatu komponen dapat dijelaskan menurut tiga fase utama, yaitu fase *burn-in*, *useful life*, serta *wear-out* [11] .



**Gambar 2. 2 Bathup curve [11]**

Selama fase *burn-in* (yang dikatakan sebagai fase awal dari suatu komponen yang baru diproduksi), laju kegagalan suatu komponen akan menurun, atau disebut *Decreasing Failure Rate* (DFR). Beberapa kegagalan yang terjadi di dalam fase ini antara lain adalah ketidaksempurnaan proses manufaktur, kontrol kualitas yang kurang maksimal, cara *packaging* yang kurang tepat, atau kekurangan proses lainnya. Fase *burn-in* dikenal juga dengan sebutan *debugging region*, *infant mortality region*, atau *break-in region*. Kemudian, selama fase *useful life*, laju kegagalan komponen adalah konstan, atau disebut *Constant Failure Rate* (CFR). Kegagalan yang terjadi pun tidak terprediksi atau acak. Kegagalan yang mungkin di antaranya cacat komponen yang tidak terdeteksi, penyalahgunaan komponen, faktor keamanan yang rendah, *human errors*, maupun kondisi lingkungan tertentu yang sulit dihindari. Pada akhirnya, di fase *wear-out*, laju kegagalan komponen meningkat atau *Increasing Failure Rate*.

(IFR). Kegagalan yang terjadi di antaranya pemeliharaan yang buruk, terjadinya korosi, maupun *overhaul* yang tidak tepat. Secara umum, jenis-jenis *maintenance* dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a. *Reactive Maintenance*

Tindakan yang dilakukan dalam jenis *maintenance* ini adalah membiarkan proses tetap berjalan pada suatu peralatan tertentu sampai peralatan tersebut mengalami kerusakan fungsi. Tidak ada aksi atau tindakan yang diambil untuk mengembalikan peralatan tersebut kedalam *design life*-nya.

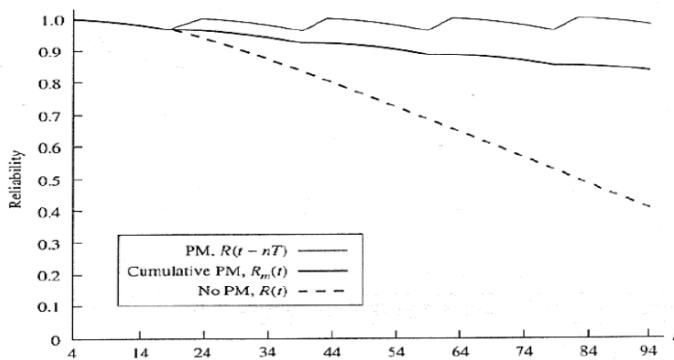
b. *Proactive Maintenance*

Tindakan proaktif untuk mencegah terjadinya kegagalan, tindakan ini dibagi mejadi dua. Pertama, *predictive maintenance*, merupakan tindakan proaktif yang dilakukan guna melakukan pencegahan terhadap kemungkinan terjadinya kerusakan, namun kegiatannya tidak terjadwal secara teratur. Kedua, *preventive maintenance*, merupakan tindakan proaktif atau upaya pemeliharaan yang dilakukan sebelum terjadi kerusakan.

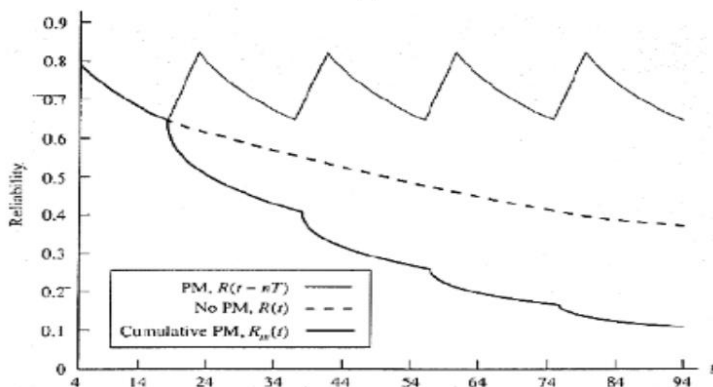
*Predictive maintenance* mencegah kegagalan peralatan sebelum terjadi kerusakan total. Dalam RCM, *predictive maintenance* dikategorikan ke dalam aktivitas *scheduled oncondition task*, yaitu kegiatan dalam mengecek potensi kegagalan sehingga kegagalan tersebut dapat dicegah untuk menghindarkan pada konsekuensi dari terjadinya kegagalan fungsi. *Scheduled on condition task* tersebut diimplementasikan pada komponen dengan laju kegagalan konstan, yang artinya berada pada fase *useful life* berdasarkan *bathtub curve*.

*Preventive maintenance* diimplementasikan pada peralatan yang mengalami fase *wear-out*, yaitu komponen yang laju keagalannya semakin meningkat atau *Increasing Failure Rate* (IFR). Tujuannya adalah untuk menjaga komponen agar tetap menjalankan fungsinya dengan baik, bahkan dapat membantu komponen tersebut kembali pada fase *usefull life*-nya. Dalam

RCM, *preventive maintenance* dikategorikan ke dalam *scheduled restoration task* ataupun *scheduled discard task*. *Scheduled restoration task* meliputi jadwal kegiatan secara periodik untuk mengganti komponen yang sudah ada sehingga komponen dapat kembali melakukan fungsi kerjanya secara maksimal dan lebih akurat sebelum mengalami kegagalan fungsi (dalam pelaksanaannya, mesin harus dihentikan). Sementara itu, *scheduled discard task* merupakan kegiatan penggantian komponen dengan komponen yang baru pada interval waktu tertentu tanpa memperhatikan kondisi komponen pada saat itu.



**Gambar 2. 3** Gambar dengan *increasing failure rate* [10]



**Gambar 2. 4** Sistem dengan *decreasing Failure Rate*. [10]

Secara matematis, *preventive maintenance* dirumuskan sebagai berikut [10]:

$$R_m(t) = R(T)^n R(T - nT) \quad (2.21)$$

Implementasi *preventive maintenance* diilustrasikan berdasarkan Gambar 2.3 dan 2.4.

### 2.12 Maintenance Cost

*Maintenance cost* dipengaruhi oleh tiap tiap *maintenance task*. Adapun persamaan dari *maintenance cost* dapat diartikan pula sebagai *cost of operational*. Adapun persamaan *maintenance cost* adalah sebagai berikut [18]

$$C_{OP} = C_{PM} + C_T + C_{CM} \quad (2.22)$$

$$C_{PM} = M \times C_{pm} \times N \quad (2.23)$$

$$C_T = \frac{1}{T_i} \times C_t \times N \quad (2.24)$$

$$C_{CM} = \lambda_T \times C_{cm} \times N \quad (2.25)$$

### 2.13 Pemodelan sistem

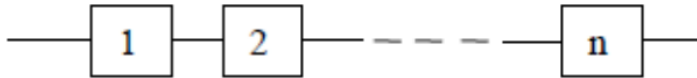
Pada saat mencari nilai kehandalan secara keseluruhan didalam suatu sistem maka perlu mengetahui jenis konfigurasi sistem tersebut. Setiap sistem mempunyai komponen yang membentuk konfigurasi dalam menjalankan fungsinya. Berikut ini adalah jenis-jenis konfigurasi sistem.

#### a. Konfigurasi Seri

Pada sistem dengan susunan komponen seri, komponen secara keseluruhan harus berfungsi agar sistem dapat berjalan. Hubungan seri dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti Gambar 2.5.

Sehingga persamaan pada perhitungan konfigurasi seri ditunjukkan dengan persamaan berikut [10].

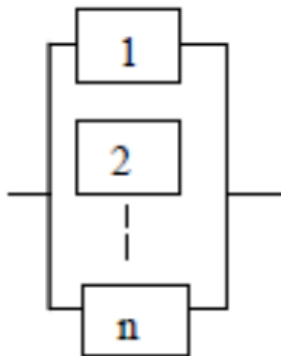
$$R_S = P(E_1 \cap E_2) = P(E_1)P(E_2) = R_1(R_2) \quad (2.26)$$



**Gambar 2. 5** Konfigurasi Seri [10]

b. Konfigurasi Paralel

Dua atau lebih komponen dalam susunan paralel atau redundant, jika semua komponen gagal maka sistem tidak akan berjalan. Namun, apabila salah satu komponen terjadi kegagalan dan komponen yang lain masih menjalankan fungsinya dengan baik, maka sistem masih dapat berjalan. Hubungan paralel dari suatu sistem dapat digambarkan dalam suatu diagram blok seperti Gambar berikut ini.

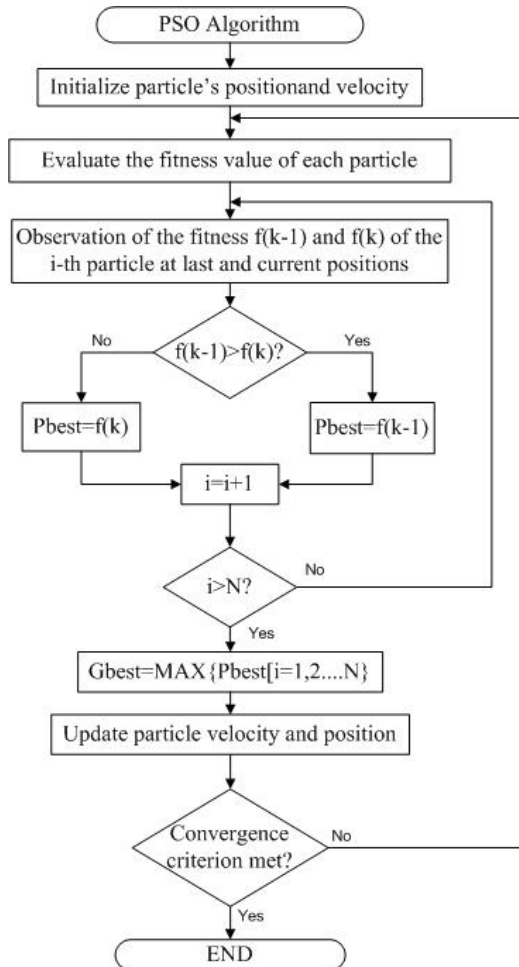


**Gambar 2. 6** Konfigurasi Paralel [10]

Secara umum *reliability* sistem paralel ditunjukkan pada persamaan berikut [10].

$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - R_1(t)] \quad (2.27)$$

### 2.14 Particle Swarm Optimization (PSO)



**Gambar 2.7** Flow chart standar PSO

*Particle Swarm Optimization* (PSO) pertama kali diperkenalkan oleh R. Eberhard dan J. Kennedy pada tahun 1995.

PSO merupakan metode optimasi *artificial intelligence* yang mengadopsi perilaku sosial kawanan burung atau ikan. Perilaku sosial dari organisme tersebut baik individu maupun kawanan (*swarm*) dijadikan sebagai dasar dalam merancang algoritma PSO. Setiap solusi dapat dianggap sebagai partikel atau seekor burung. Burung akan mencari makanannya melalui usahanya sendiri dan kerja sama sosial dengan burung-burung yang lain pada kawanannya. Kawanan burung akan mencari makanannya secara acak di suatu area. Semua burung tidak mengetahui secara pasti dimana makanan itu berada, namun mereka mengetahui seberapa jauh makanan itu pada setiap iterasi. Strategi terbaik yang mereka lakukan untuk menemukan makanan itu adalah dengan cara mengikuti burung yang terdekat dengan makanan tersebut [9]. Setiap anggota dalam kawanan mengadaptasi pola pencariannya dengan belajar dari pengalamannya sendiri dan pengalaman anggota lain. Burung diartikan sebagai partikel dalam algoritma PSO. Setiap partikel merepresentasikan suatu solusi dalam ruang pencarian. Jika burung telah menemukan makanannya, maka pada saat itu *global optimum* (gbest) dianggap sebagai lokasi dari makanan [9].

Setiap partikel mempunyai nilai *fitness* yang dievaluasi oleh sebuah fungsi evaluasi. Nilai *fitness* dan kecepatan digunakan untuk mengatur arah terbang sesuai dengan pengalaman terbaik yang pernah dicapai untuk mencari gbest dalam ruang pencarian. Setiap partikel menyimpan jejak koordinatnya dalam ruang pencarian dengan solusi terbaik yang telah dicapai. Koordinat terbaik yang dicapai sebuah partikel saat tercapainya nilai *fitness* terbaik pada saat itu disebut sebagai pbest [9].

Metode PSO akan dibagi menjadi 5 tahapan. Tahap pertama adalah PSO *Initialitation*. Pada tahap ini particle akan berinisialisasi secara *random* mengikuti distribusi pada ruang pencarian (*search space*). Kecepatan awal masih ditentukan secara *random*. Tahap kedua yaitu *Fitness Evaluation* dengan cara mengevaluasi nilai fitness dari setiap partikel. Tahap ketiga merupakan update individual and Global Best Data dengan cara membandingkan perhitungan nilai fitness yang baru dengan nilai fitness yang sebelumnya dan mengganti Pbest dan Gbest sesuai

dengan posisi yang dibutuhkan. Tahap keempat adalah memperbarui kecepatan dan posisi setiap partikel menggunakan persamaan 2.28 dan persamaan 2.30. Dan tahap terakhir adalah convergence determination dengan cara memeriksa kriteria dari convergence. [16]. Secara diagram algoritma PSO digambarkan seperti gambar 2.7.

Berikut ini adalah persamana-persamaan yang digunakan dalam algoritma optimasi PSO [19].

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 rand_1 x (pbest - s_i^k) + c_2 rand_2 x (gbest - s_i^k) \quad (2.28)$$

Setiap iterasi nilai fungsi pemberat di-*update* melalui persamaan diatas. Bobot inertia ini digunakan untuk menyeimbangkan antara kemampuan pencarian global dan pencarian lokal. Besarnya nilai inertia yang bagus biasanya kurang sedikit dari satu.

$$\omega = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{itermax} \times iter \quad (2.29)$$

Setiap iterasi posisi partikel di-*update* melalui persamaan

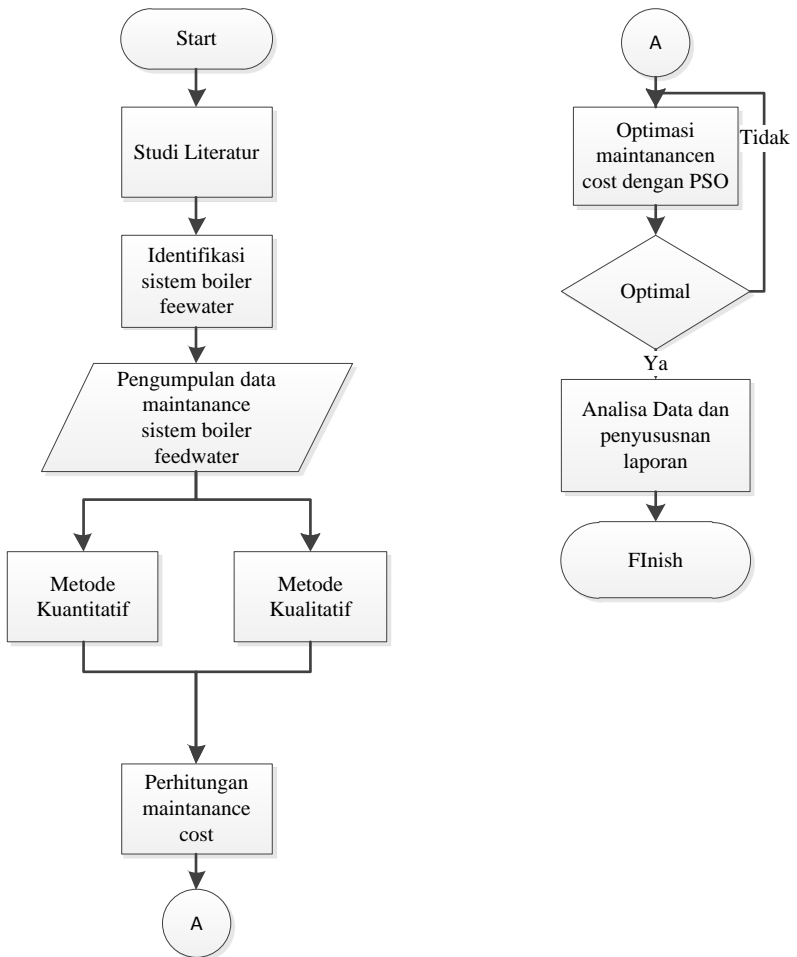
$$S_i^{k+1} = S_i^k + v_i^{k+1} \quad (2.30)$$

Nilai optimal untuk parameter sangat tergantung pada masalah yang dihadapi sehingga penentuan parameter juga tidak menentu. Shi and Eberhart [20] menyimpulkan bahwa jika Vmax kecil maka diperkirakan *inertia weight* sebesar 1 adalah pilihan yang tepat. Namun saat Vmax tidak kecil maka inertia weight sebesar 0,8. Menurut suganthan [21] learning rate yang akan memberikan hasil solusi yang baik adalah 2.



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dirancang melalui beberapa tahap yang digambarkan pada diagram alir sebagai berikut.



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

### 3.1 Studi Literatur

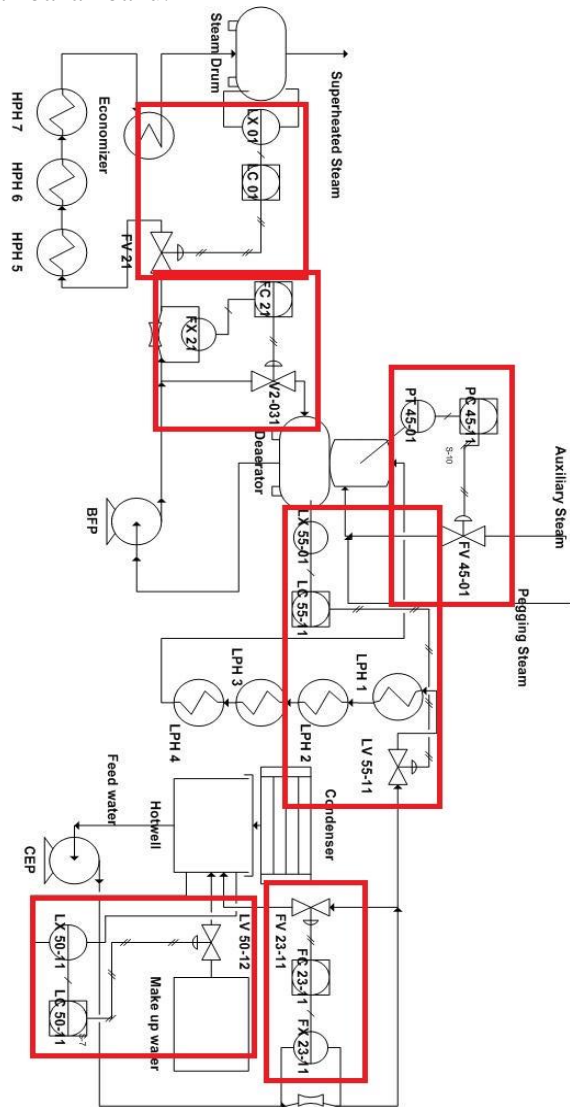
Dalam tahap ini peneliti mencari jurnal-jurnal yang cocok untuk mendukung teori dari judul penelitian . Selain itu buku-buku penunjang serta buku tugas akhir dari mahasiswa sebelumnya juga dipelajari untuk lebih mendalami konsep *reliability*, RCM, sistem *boiler feedwater* serta optimasi yang menjadi kunci utama terselesaikannya penelitian ini pada akhirnya . Materi yang akan menjadi fokus yakni bagaimana mengolah data *maintenance* secara kuantitatif dan kualitatif sehingga bisa mendapatkan data *reliability* dari BFP dan juga mengolah data sampai berujung pada *maintenance cost* yang akan didapatkan . Selanjutnya juga dipelajari cara kerja algoritma PSO untuk menuju step selanjutnya setelah dilakukan perhitungan nilai *reliability* yakni optimasi.

### 3.2 Identifikasi sistem *boiler feedwater*

Identifikasi sistem *boiler feedwater* dilakukan dengan merujuk pada PnID yang didapat dari PJB UP Gresik. Dari PnID didapatkan skup bahasan dari objek penelitian yang meliputi *hotwell*, CEP, deaerator, BFP dan *steam drum*. Skup bahasan dari penelitian kali ini dibatasi hanya membahas mengenai alat instrumen sistem kontrol yang ada pada sistem *boiler feedwater* yang meliputi sistem kontrol *level* deaerator, kontrol *pressure* deaerator, kontrol *level hotwell*, kontrol *min flow* CEP, kontrol *min flow* BFP dan kontrol *level steam drum*.

Dalam gambar 3.2 yang merupakan sebuah gambaran PnID dari sistem *boiler feedwater* , terlihat susunan dari sistem boiler feedwater merupakan susunan sistem seri dengan penyusun setiap sistem kontrol yang ada pada sistem *boiler feedwater*. Hal ini juga dibuktikan dengan fungsi dari setiap sistem kontrol yang saling berkaitan dan saling memengaruhi satu sama lain. Sistem pengendali *level* dan *pressure* pada *deaerator* berguna untuk memastikan fungsi deaerator sebagai penghilang DO dan penyedia bahan baku tetap berjalan. Begitu juga dengan sistem pengendali *level* pada *hotwell* dan *steam drum* yang memastikan bahan baku tetap tersedia. Yang terakhir sistem pengendali *min*

*flow* pada CEP dan BFP yang juga berfungsi memastikan ketersediaan bahan baku.



**Gambar 3. 2** PnID sistem boiler feedwater

### 3.3 Pengumpulan data *maintenance* sistem *boiler feedwater*

Data yang diambil di PT PJB UP Gresik adalah data variabel proses yang menjadi variabel yang dikontrol dalam sistem *feedwater* melalui DCS dengan rentang waktu 15 menit sekali selama 15 hari. Dalam PnIDnya terdapat 6 loop kontrol yang ada di sistem *boiler feedwater* yang meliputi variabel *pressure*, *level* dan *flow*. Selain itu juga dilakukan pengambilan data dengan teknik wawancara untuk mengetahui *failure mode*, *failure effect* dan lama waktu *maintenance* dari setiap sistem kontrol di sistem *boiler feedwater*.

### 3.4 Pengolahan data

Untuk dapat mencapai tujuan dari penelitian ini pada nantinya diperlukan pengolahan data secara kuantitatif dan kualitatif agar hasil menjadi baik

#### 3.4.1 Kuantitatif

Pengolahan kuantitatif adalah pengolahan yang bertujuan untuk menghitung nilai *reliability*, *availability* dan *maintainability* dari sistem *feedwater*. Namun dikarenakan pada PT PJB UP Gresik tidak mempunyai data *maintenance* yang sesuai standar maka perhitungan nilai-nilai yang telah disebut bermula dengan perhitungan lamda untuk setiap sistem kontrol di sistem *boiler feedwater*. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan *control chart*. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

- a. Langkah pertama rata-rata data disetiap waktu pengambilan data dihitung dengan persamaan 2.19
- b. Setelah mendapatkan rata-rata data disetiap waktu pengambilan data kemudian dihitung deviasinya dengan menggunakan persamaan

$$deviasi = (x_i - \bar{x}) \quad (3.1)$$

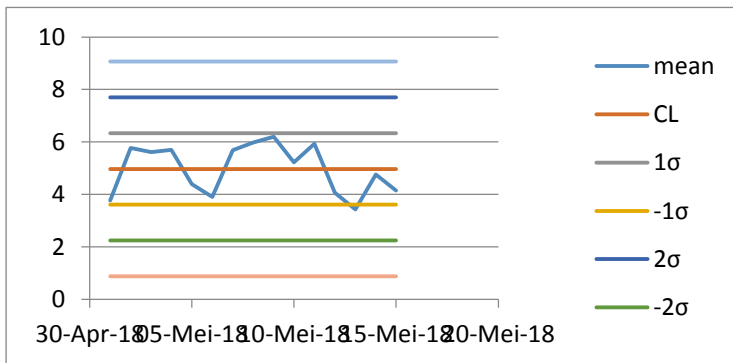
- c. Hasil dari *deviasi* kemudian dikuadratkan
- d. Kemudian hasil dari *deviasi* kuadrat dijumlahkan
- e. Langkah terakhir yakni mencari *standar deviasi* dengan menggunakan persamaan 2.20

**Tabel 3.1** Contoh perhitungan *standar deviasi*

jam 00:00:00					
nilai	<i>mean</i>	<i>deviasi</i>	kuadrat	jumlah	<i>standar deviasi</i>
3,4644	3,83911 5	0,37471 5	0,14041 2	12,9776 8	0,9627964 77
3,9305		0,09138	0,00835 1		
3,472		0,36711 5	0,13477 4		
3,4922		0,34691 5	0,12035		
3,9583		0,11918	0,01420 5		
3,9519		0,11278	0,01272		
3,4433		0,39581 5	0,15667		
3,5039		0,33521 5	0,11236 9		
3,9929		0,15378	0,02365		
3,4907		0,34841 5	0,12139 3		
3,4456		0,39351 5	0,15485 4		
7,2129		3,37378	11,3824 2		
3,489		0,35011 5	0,12258 1		
3,496		0,34311 5	0,11772 8		
3,2431 3		0,59598 5	0,35519 9		

Setelah mendapatkan standar deviasi dari setiap waktu maka dicarilah rata-rata standar deviasi disetiap waktunya sehingga diketahui *standar deviasi* dari sebuah sistem pengendalian.

Data variabel proses di setiap *loop* pengendalian yang telah didapat dari DCS kemudian diolah dan dihitung menjadi batas-batas *standar deviasi*. Setelah itu dilakukan plot data ke sebuah grafik guna melihat persebaran data dengan opsi variasi *standar deviasi* untuk 1 *standar deviasi*, 2 *standar deviasi* dan 3 *standar deviasi* guna menentukan nilai lamda dengan menghitung jumlah data yang *out of scope* yang mewakili dari nilai kegagalan itu sendiri. Salah satu contoh grafiknya adalah sebagai berikut

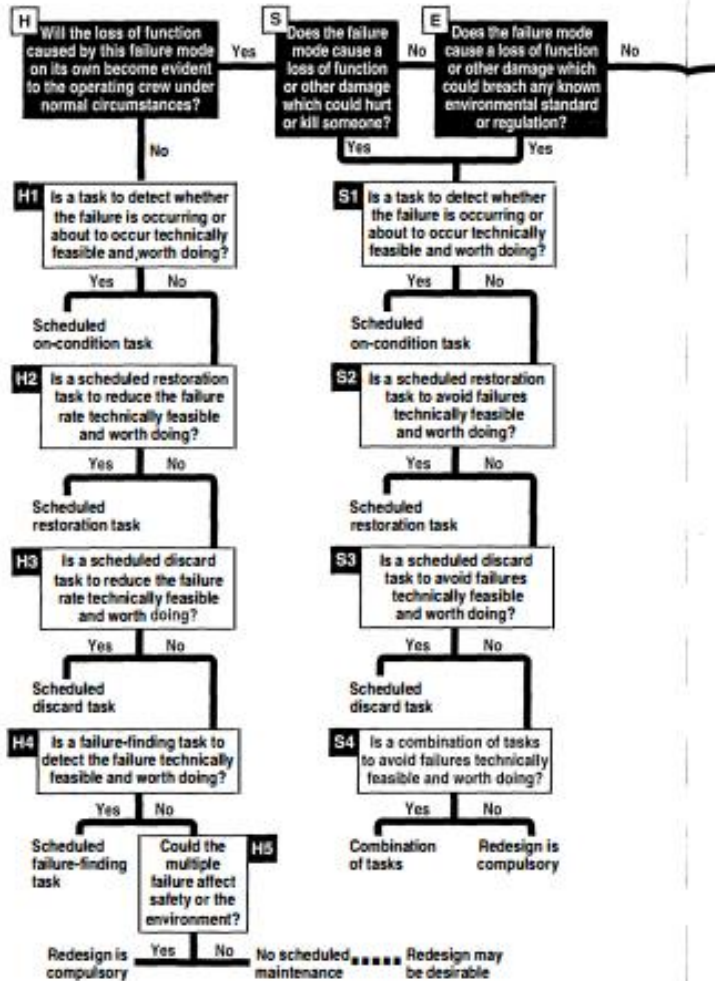


**Gambar 3. 3** Contoh diagram *control chart*

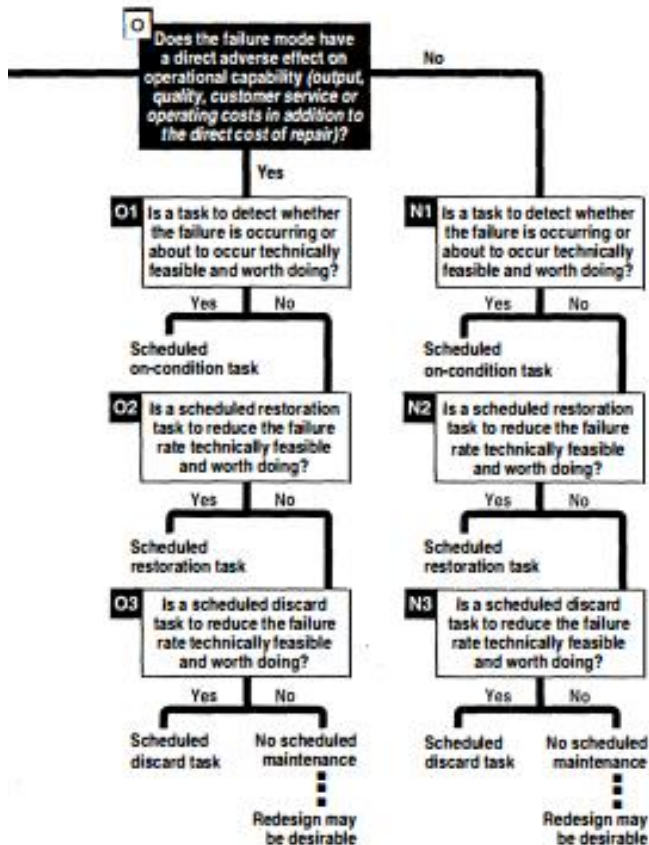
Setelah mendapatkan lamda, maka dilanjutkan dengan perhitungan nilai *reliability* dari setiap sistem yang kemudian dihitung juga nilai *reliability* totalnya dengan rumus yang telah dijelaskan di bab sebelumnya. Perlu diketahui bahwa nilai *reliability* yang masih ditolelir oleh PJB Gresik adalah 70%. Jika nilai keandalan telah mencapai 70% maka dilakukan penentuan *interval preventive maintenance*. Selain itu perhitungan *availability* dan *maintainability* didapatkan dengan data MTTR yang didapatkan melalui proses wawancara dengan bagian *maintenance control* dan instrumentasi guna mencari *availability* dan *maintainability*. Perhitungan *availability* serta *maintainability* sesuai dengan rumus-rumus yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya

### 3.4.2 Kualitatif

Metode kualitatif disini sama dengan melakukan RCM untuk menentukan jenis tindakan *maintenance* yang cocok untuk dilakukan pada setiap komponen yang termasuk dalam skup bahasan. Pendasaran penentuannya berdasarkan RCM II diagram seperti pada gambar dibawah ini .



Gambar 3. 4 RCM Decision diagram [17].



**Gambar 3. 4** Lanjutan RCM *Decision diagram* [17].

Diagram ini merupakan serangkaian pertanyaan yang memudahkan pembaca untuk memilih metode apa yang dirasa cocok untuk melakukan *maintenance*. Pertanyaan akan dimulai dari sisi kiri atas kemudian gejala kekanan sesuai dengan pertanyaan yang diajukan pada RCM II diagram.

Dari hasil yang didapatkan RCM II diagram akan dimasukkan dalam RCM diagram *worksheet* untuk





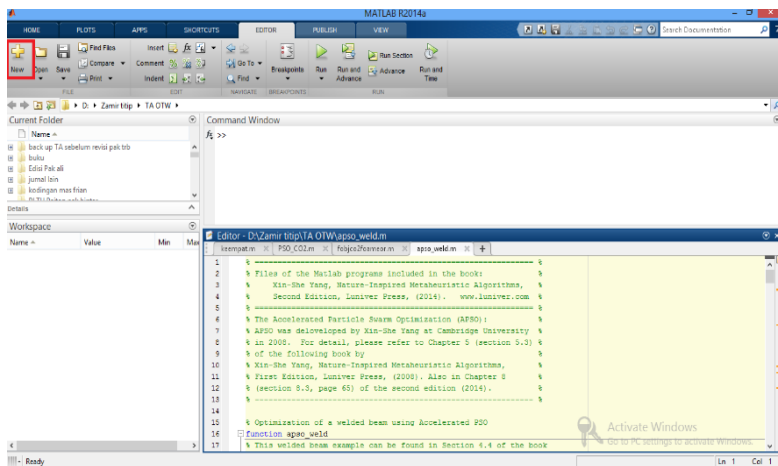
Dari referensi diatas maka dihitung biaya operational *cost* aktual dari sistem *feedwater* PT PJB Gresik

### 3.6 Optimasi *maintenance cost* dengan PSO

Optimasi *maintenance cost* dengan algoritma PSO dilakukan dengan harapan bisa meminimalkan biaya operasional *cost* dari setiap komponen dan memberi rekomendasi yang lebih baik. Pertama-tama yakni dengan menentukan parameter-parameter dari PSO diantaranya adalah populasi, iterasi, inertia weight, learning rate, posisi populasi awal dan kecepatan populasi awal.

Setelah menentukan parameter kemudian codingan algoritma PSO sedemikian rupa dituliskan dalam software matlab dengan variabel optimasi. Langkah-langkahnya sebagai berikut:

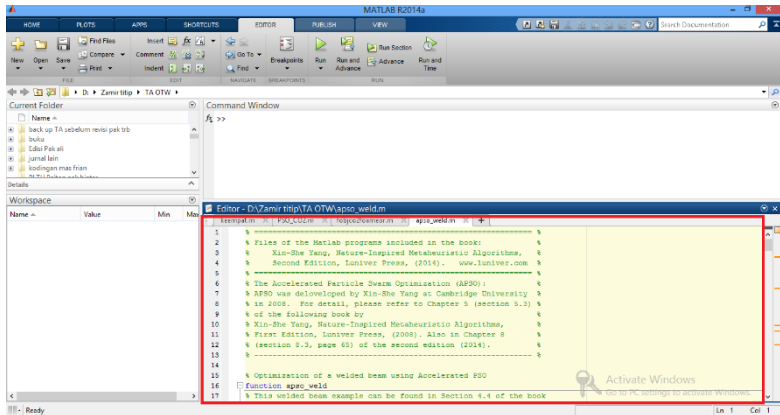
- Buka software matlab kemudian klik new untuk membuat sebuah template *script*.



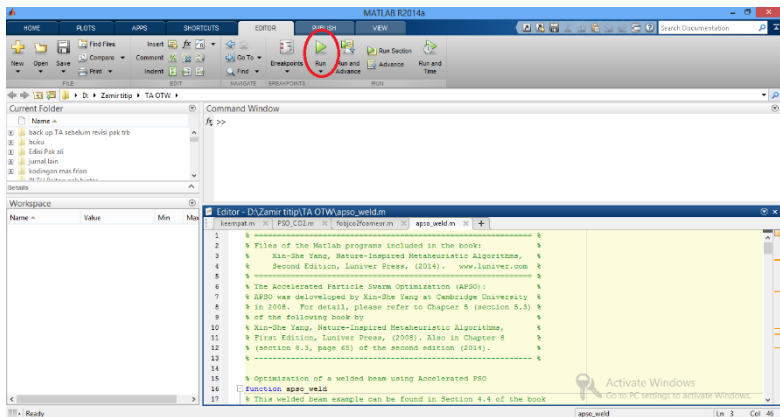
**Gambar 3.5** Tampilan software matlab

- Kemudian *coding*-an dari algoritma dituliskan ke dalam kolom *script* pada matlab. Pada kodingan *script* untuk algoritma PSO dan *objective function* dibedakan agar lebih rapi dan jelas seperti pada gambar 3.6

- c. Setelah *coding*-an masuk dalam *script* matlab, kemudian program dijalankan dengan mengklik tombol *run* seperti pada gambar 3.7.



**Gambar 3. 6** Kolom *script* tempat *coding*-an pada matlab



**Gambar 3. 7** Tombol *run* untuk menjalankan program

*Objective function* dari optimasi ini adalah *operational cost* (*maintenance cost*). Dikatakan optimal jika bisa mengurangi biaya seefektif mungkin yang bisa dikurangkan. Jika belum maka proses pencarian akan me-loop lagi hingga mencapai hasil yang

optimal sampai nilai *objective function* bisa dikatakan konvergen. Batas yang digunakan adalah dengan menggunakan hasil perhitungan *failure rate* aktual sebagai batas atas dan *failure rate* dari OREDA untuk batas bawah .

## BAB IV

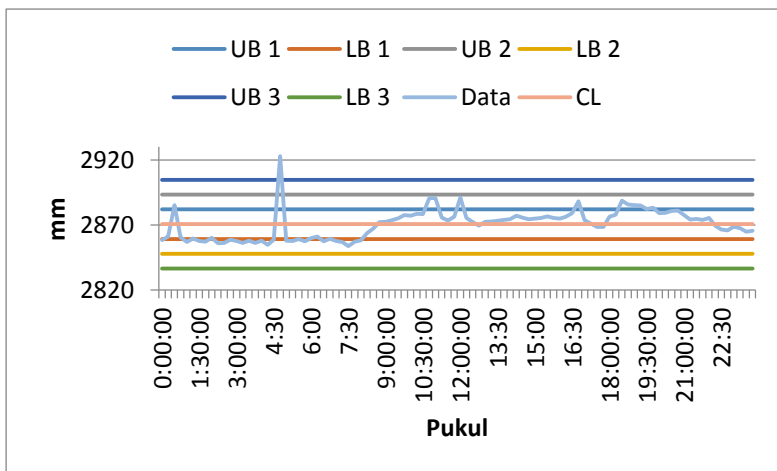
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Kuantitatif

Analisa kuantitatif dilakukan dengan perhitungan *reliability* berdasarkan nilai lamdanya yang didapatkan dari nilai *out of scope control chart*. Maka dari data variabel proses yang didapat akan didapatkan batas-batas dari *standar deviasi*-nya yang akan merujuk pada nilai lamda. Setelah didapatkan nilai lamda maka bisa dihitung nilai *reliability* dan *availability*-nya. Sedangkan nilai *maintainability* didapatkan dengan perhitungan setelah mendapatkan nilai lamda dan MTTR dari wawancara bagian *maintenance* kontrol dan instrumen PT PJB Gresik. Setelah didapatkan semua barulah bisa dicari *reliability* secara keseluruhan dalam sistem *boiler feedwater*.

##### 4.1.1 Analisa kuantitatif pada sistem *level deaerator kontrol*

Data variabel proses yang digunakan adalah *level* di deaerator pada tanggal 1-15 Mei 2018 setiap 15 menit sekali dengan hasil olahan pada *control chart* sebagai berikut:



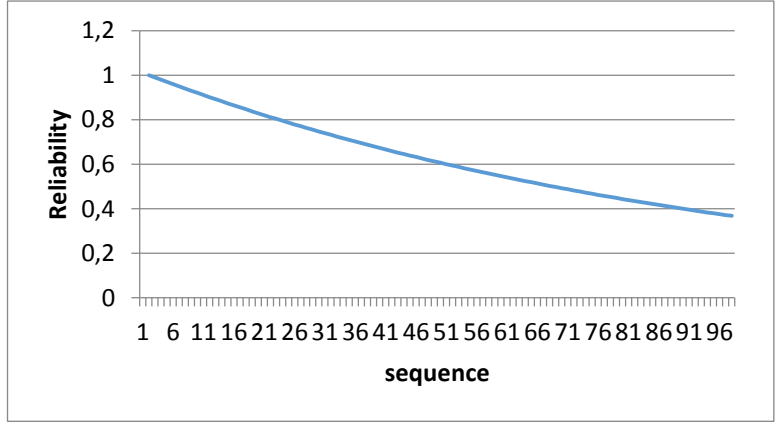
**Gambar 4. 1** *Control chart* sistem *level deaerator kontrol*

Dari grafik 4.1 didapatkan nilai lamda dari sistem *level* deaerator kontrol adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 1** Lamda sistem *level* deaerator kontrol

	1σ	2σ	3σ
Lamda	0,125	0,010416667	0,010416667

Hasil lamda menunjukkan bahwa lamda yang ada mempunyai lamda yang konstan. Hal ini diasumsikan bahwa sistem kontrol *level* deaerator sedang berada pada *usefull life* dengan jenis distribusi eksponensial dikarenakan tidak adanya data penunjang *maintenance* yang lainnya. Dari data diatas juga menunjukkan setiap nilai lamda mempunyai tingkat kepercayaan masing-masing bergantung pada daerahnya di *control chart*. Daerah *out of scoop* 1σ mempunyai tingkat kepercayaan 68%, daerah *out of scoop* 2σ mempunyai tingkat kepercayaan 95% dan daerah *out of scoop* 3σ mempunyai tingkat kepercayaan 99%.



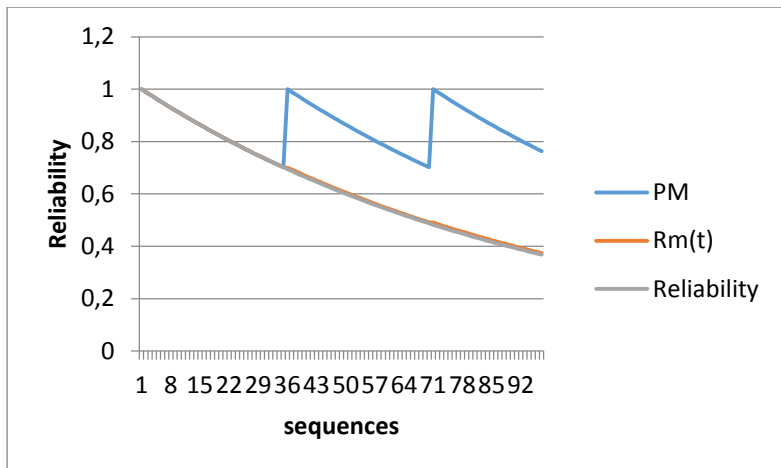
**Gambar 4. 2** Reliability sistem kontrol *level* deaerator

Dikarenakan komponen yang digunakan oleh PJB Gresik adalah teknologi keluaran 90an serta menggunakan tipe komponen analog maka hasil yang digunakan dan mendekati kondisi aktual adalah yang mempunyai tingkat kepercayaan 95%

sesuai dengan spesifikasi komponen dari sistem kontrol *level deaerator*. Setelah ditentukan lamda maka dilakukan perhitungan *reliability* tanpa *preventive maintenance* serta dengan *preventive maintenance*, *avaibility* dan *maintenability*.

Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari sistem *level deaerator* kontrol mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 34 *sequence* atau 0,354 siklus operasi. Jika mengasumsikan siklus operasi sistem adalah 5 tahun maka ini sama dengan 15512,5 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari sistem kontrol *level deaerator* cukup baik.

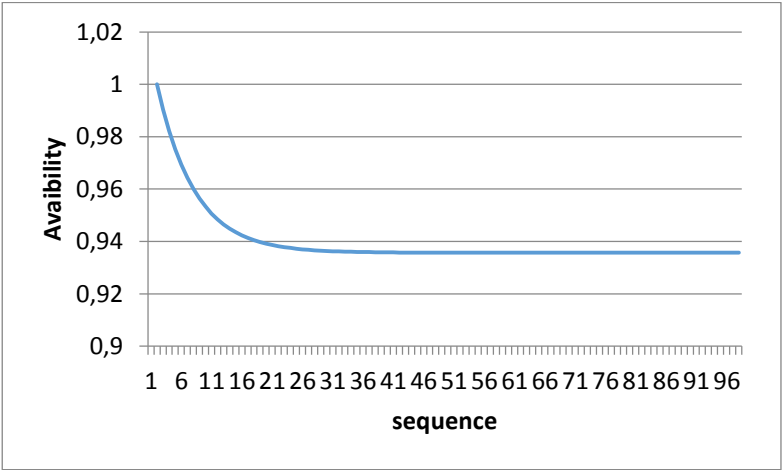
Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada sistem kontrol *level deaerator* ditunjukkan pada gambar 4.3.



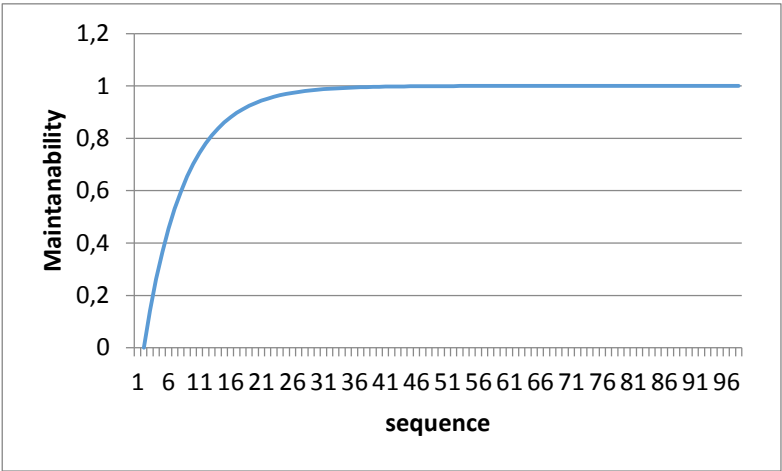
**Gambar 4. 3** Penerapan PM pada sistem kontrol *level deaerator*

Berdasarkan Gambar 4.3, terbukti bahwa nilai keandalan dari sistem kontrol *level deaerator* setelah dilakukan perawatan sedikit lebih besar daripada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis jingga *Rm(t)* namun tidak terlalu

signifikan. Hal ini membuktikan tindakan preventive maintenance kurang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem kontrol level deaerator.



**Gambar 4. 4** *Avaibility* sistem kontrol *level* deaerator



**Gambar 4. 5** *Maintainability* sistem kontrol *level* deaerator

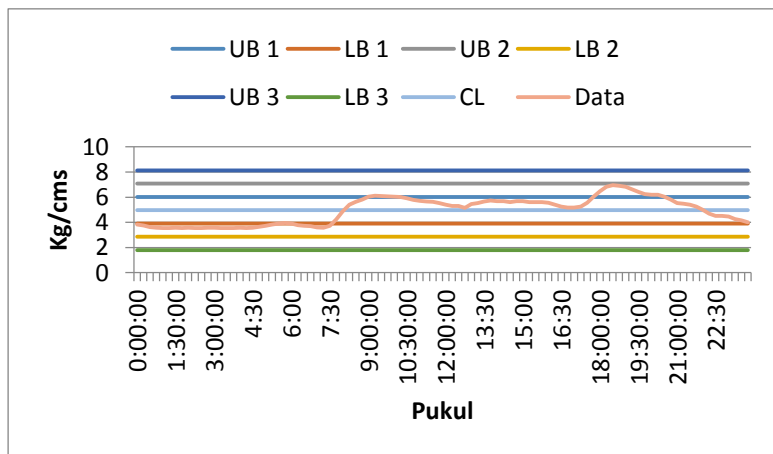


Dari gambar 4.4, sistem *level* deaerator kontrol memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari komponen sistem *level* deaerator kontrol tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* yang konstan adalah 93,5% pada saat  $t = 69$  sequence atau 0,71 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 31481,25 jam.

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 6,6 jam. Berdasarkan gambar 4.5, sistem kontrol *level* deaerator akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t=31$  sequence atau 0,322 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 14143,75 jam.

#### 4.1.2 Analisa kuantitatif pada sistem kontrol *pressure* deaerator

Data variabel proses yang digunakan adalah *level* di deaerator pada tanggal 1-15 Mei 2018 setiap 15 menit sekali dengan hasil olahan pada *control chart* pada gambar 4.6:



**Gambar 4. 6** *Control chart* sistem *pressure* deaerator kontrol

Dari grafik gambar 4.6 didapatkan nilai lamda dari sistem *pressure* deaerator kontrol seperti pada tabel 4.2.

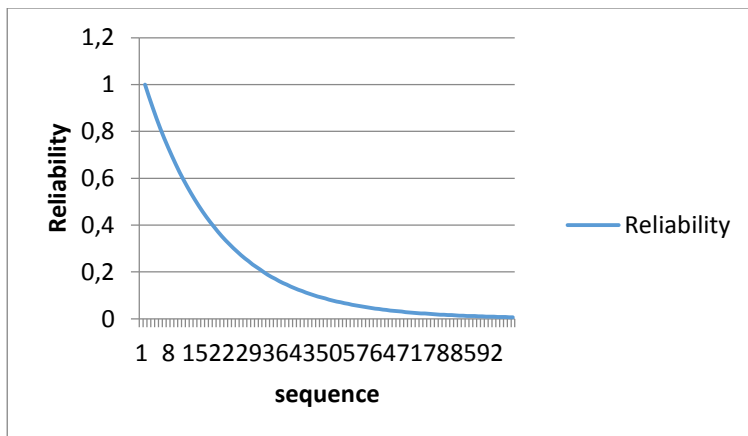
Hasil lamda menunjukkan bahwa lamda yang ada mempunyai lamda yang konstan. Hal ini diasumsikan bahwa

sistem kontrol *pressure* deaerator sedang berada pada *usefull life* dengan jenis distribusi eksponensial dikarenakan tidak adanya data penunjang *maintenance* yang lainnya. Dari data diatas menunjukkan setiap nilai lamda mempunyai tingkat kepercayaan masing-masing bergantung pada daerahnya di *control chart*. Daerah *out of scoop*  $1\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 68%, daerah *out of scoop*  $2\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 95% dan daerah *out of scoop*  $3\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 99%.

**Tabel 4. 2** Lamda sistem *pressure* deaerator kontrol

	$1\sigma$	$2\sigma$	$3\sigma$
lamda	0,40625	0,052083333	0

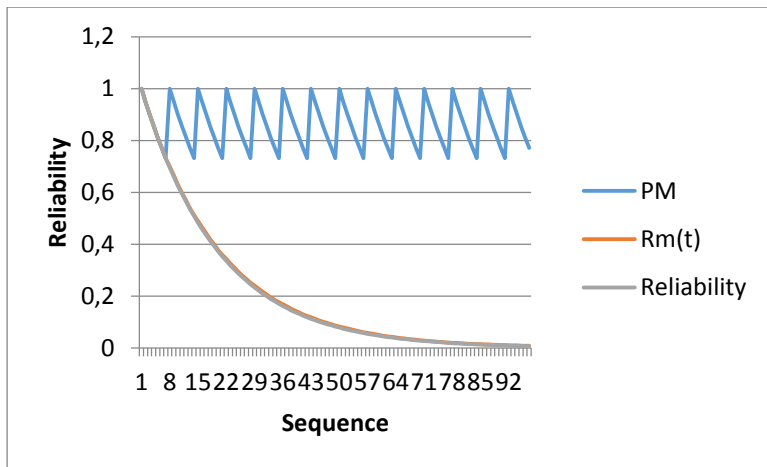
Dikarenakan komponen yang digunakan oleh PJB Gresik adalah teknologi keluaran 90an serta menggunakan tipe komponen analog maka hasil yang digunakan dan mendekati kondisi aktual adalah yang mempunyai tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan spesifikasi komponen dari sistem kontrol *level* deaerator. Setelah ditentukan lamda maka dilakukan perhitungan *reliability* tanpa *preventive maintenance* serta dengan *preventive maintenance*, *avaibility* dan *maintenability*.



**Gambar 4. 7** *Reliability* sistem kontrol *pressure* deaerator

Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari sistem *pressure* deaerator kontrol mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 7 *sequence* atau 0,0833 siklus operasi. Jika mengasumsikan siklus operasi sistem adalah 5 tahun maka ini sama dengan 3650 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari sistem kontrol *pressure* deaerator cukup baik.

Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada sistem kontrol *pressure* deaerator ditunjukkan pada gambar 4.8

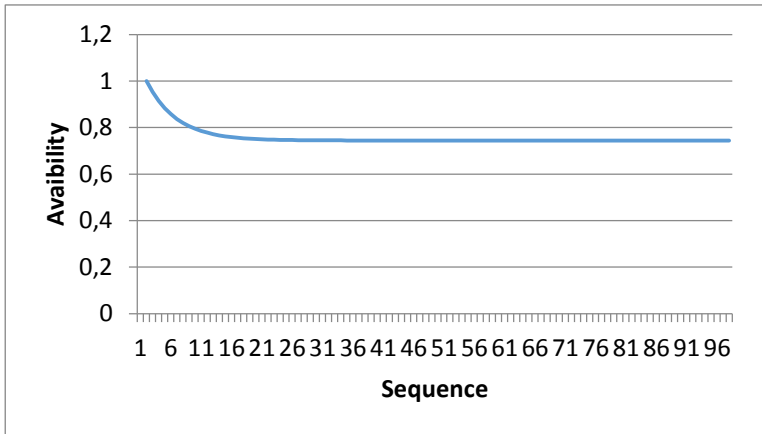


**Gambar 4. 8** Penerapan PM pada sistem kontrol *pressure* deaerator

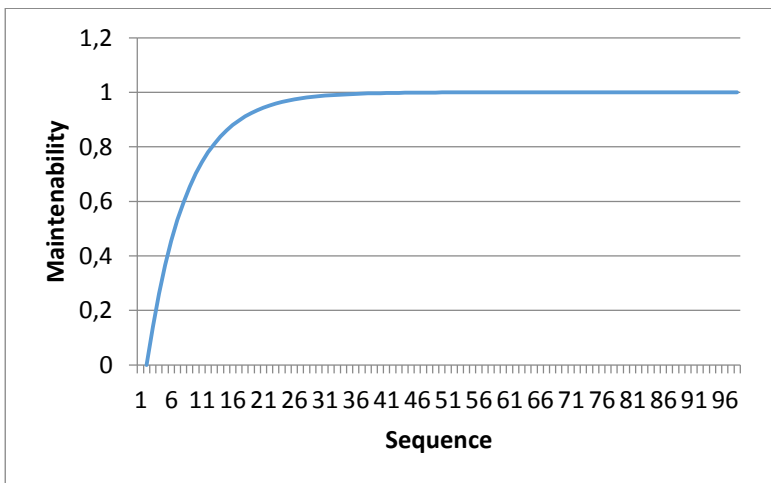
Berdasarkan Gambar 4.8, terbukti bahwa nilai keandalan dari sistem kontrol level deaerator setelah dilakukan perawatan sedikit lebih besar dari pada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis jingga  $R_m(t)$ . Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* kurang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem kontrol *pressure deaerator*.

Dari gambar 4.9, sistem *pressure* deaerator kontrol memiliki *avaibility* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat

ketersediaan dari komponen sistem *pressure* deaerator kontrol jika dibutuhkan akan tersedia dengan dibuktikan nilai *availability* yang konstan adalah 74,4% pada  $t=29$  sequence atau 0,302 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 13231,25jam.



**Gambar 4. 9** *Availability* sistem kontrol *pressure* deaerator

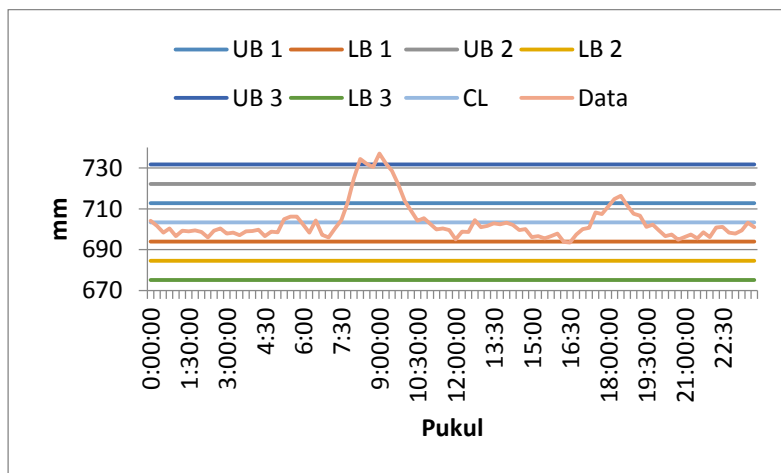


**Gambar 4. 10** *Maintainability* sistem *pressure* deaerator kontrol

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 6,6 jam. Berdasarkan gambar 4.10 , sistem kontrol *pressure* deaerator akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t=31$  sequence atau 0,322 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 14143,75 jam.

#### 4.1.3 Analisa kuantitatif pada sistem kontrol *level hotwell*

Data variabel proses yang digunakan adalah *level* di hotwell pada tanggal 1-15 Mei 2018 setiap 15 menit sekali dengan hasil olahan pada *control chart* seperti gambar 4.11.



**Gambar 4. 11** *Control chart* sistem kontrol *level hotwell*

Dari grafik gambar 4.11 didapatkan nilai lamda dari sistem *level* deaerator kontrol adalah sebagai berikut:

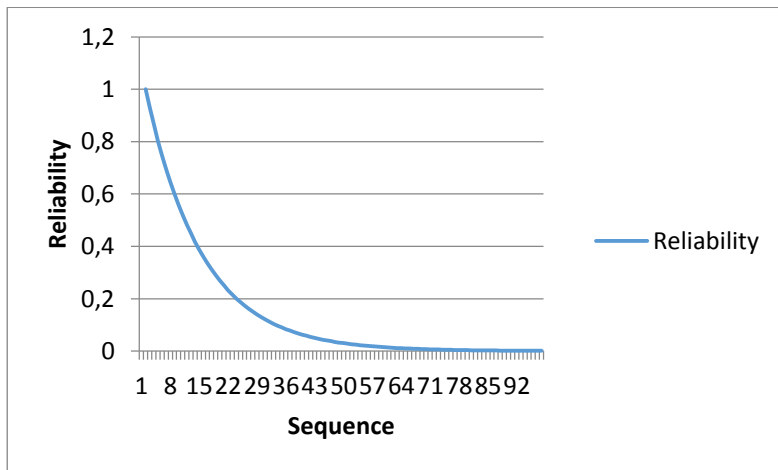
**Tabel 4. 3** Lamda sistem kontrol *level hotwell*

	$1\sigma$	$2\sigma$	$3\sigma$
lamda	0,145833333	0,072916667	0,041666667

Hasil lamda menunjukkan bahwa lamda yang ada mempunyai lamda yang konstan. Hal ini diasumsikan bahwa sistem kontrol *level hotwell* sedang berada pada *usefull life*

dengan jenis distribusi eksponensial dikarenakan tidak adanya data penunjang *maintenance* yang lainnya. Dari data diatas juga menunjukkan setiap nilai lamda mempunyai tingkat kepercayaan masing-masing bergantung pada daerahnya di *control chart*. Daerah *out of scoop*  $1\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 68%, daerah *out of scoop*  $2\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 95% dan daerah *out of scoop*  $3\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 99%.

Dikarenakan komponen yang digunakan oleh PJB Gresik adalah teknologi keluaran 90an serta menggunakan tipe komponen analog maka hasil yang digunakan dan mendekati kondisi aktual adalah yang mempunyai tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan spesifikasi komponen dari sistem kontrol *level hotwell*. Setelah ditentukan lamda maka dilakukan perhitungan *reliability* tanpa *preventive maintenance* serta dengan *preventive maintenance*, *avaibility* dan *maintenability*.

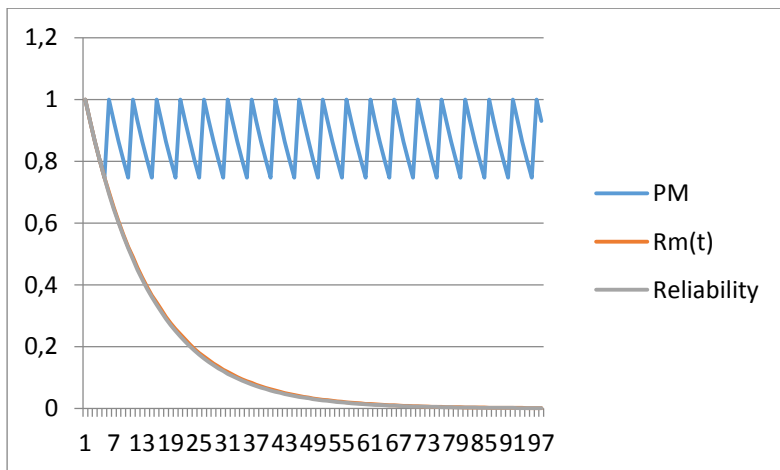


**Gambar 4. 12** *Reliability* sistem kontrol *level hotwel*

Dari gambar 4.12 menunjukan bahwa nilai *reliability* dari sistem *level hotwell* kontrol mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 5 *sequence* atau 0,052 siklus operasi. Jika mengasumsikan siklus operasi sistem adalah 5 tahun maka ini sama dengan 2281,25 jam.

Ini membuktikan bahwa *reliability* dari sistem kontrol pressure deaerator cukup baik dikarenakan grafik dari sistem tidak mengalami penurunan secara drastis.

Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada sistem kontrol *level hotwell* ditunjukkan pada gambar 4.13



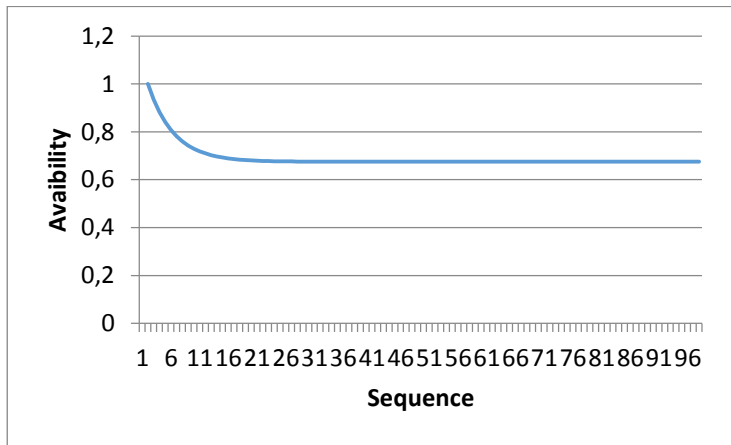
**Gambar 4. 13** Penerapan PM pada sistem kontrol *level hotwell*.

Berdasarkan Gambar 4.13, terbukti bahwa nilai keandalan dari sistem kontrol *level hotwell* setelah dilakukan perawatan sedikit lebih besar dari pada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis jingga  $R_m(t)$ . Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* kurang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem kontrol *pressure deaerator* karena pada akhirnya akan memakan biaya yang besar dengan peningkatan *reliability* yang kecil.

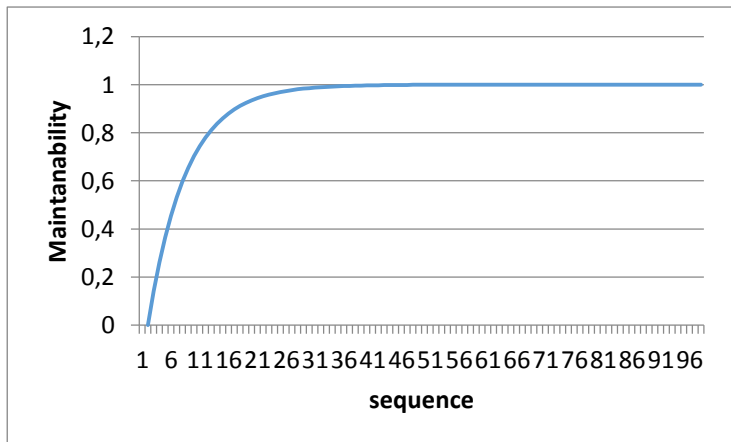
Dari gambar 4.14, sistem *level hotwell* kontrol memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari komponen sistem *level hotwell* kontrol tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* yang konstan adalah 67,5%

pada saat  $t=12$  sequence atau 0,125 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 5475 jam.

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 6,6 jam. Berdasarkan gambar 4.15, sistem kontrol *level hotwell* akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t=31$  sequence atau 0,322 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 14143,75 jam.



**Gambar 4. 14** *Avaibility sistem kontrol level hotwell*

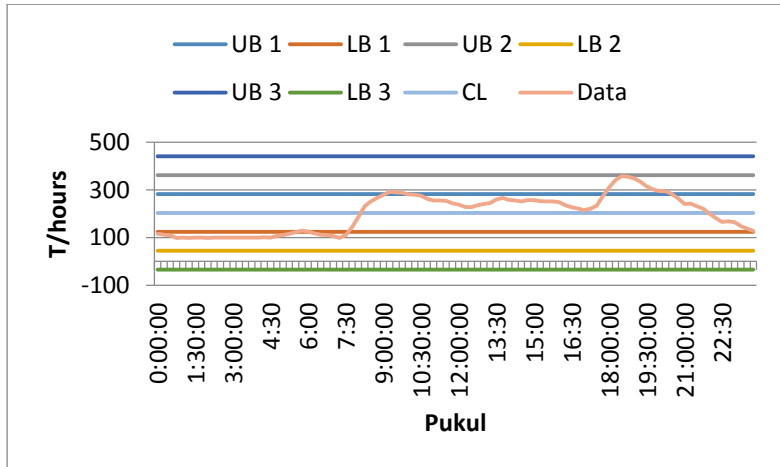


**Gambar 4. 15** *Maintainability sistem level hotwell kontrol*



#### 4.1.4 Analisa kuantitatif pada sistem *min flow CEP*

Data variabel proses yang digunakan adalah *level* di deaerator pada tanggal 1-15 Mei 2018 setiap 15 menit sekali dengan hasil olahan pada *control chart* seperti gambar 4.16.



**Gambar 4. 16** *Control chart* sistem kontrol *min flow CEP*

Dari grafik pada gambar 4.16 tersebut didapatkan nilai lamda dari sistem *min flow CEP* kontrol adalah sebagai berikut:

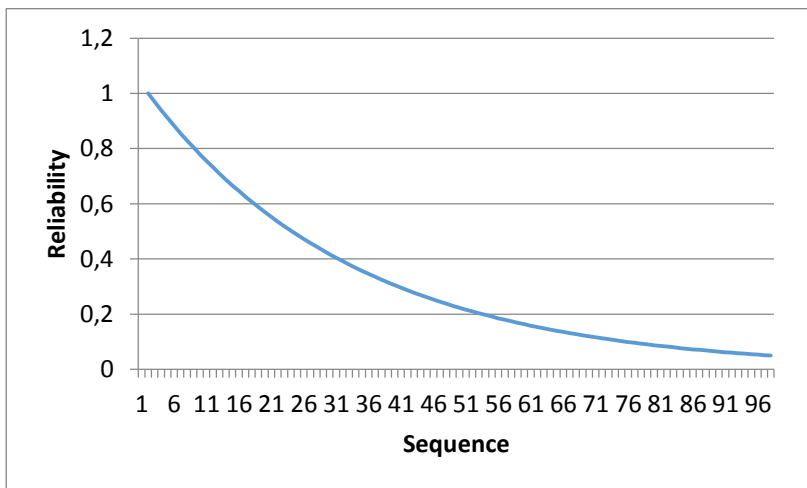
**Tabel 4. 4** lamda sistem kontrol *min flow CEP*

	1 $\sigma$	2 $\sigma$	3 $\sigma$
Lamda	0,46875	0,03125	0

Hasil lamda menunjukkan bahwa lamda yang ada mempunyai lamda yang konstan. Hal ini diasumsikan bahwa sistem kontrol *min flow CEP* sedang berada pada *usefull life* dengan jenis distribusi eksponensial dikarenakan tidak adanya data penunjang *maintenance* yang lainnya. Dari data diatas juga menunjukkan setiap nilai lamda mempunyai tingkat kepercayaan masing-masing bergantung pada daerahnya di *control chart*. Daerah *out of scoop* 1 $\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 68%,

daerah *out of scope*  $2\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 95% dan daerah *out of scope*  $3\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 99%.

Dikarenakan komponen yang digunakan oleh PJB Gresik adalah teknologi keluaran 90an serta menggunakan tipe komponen analog maka hasil yang digunakan dan mendekati kondisi aktual adalah yang mempunyai tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan spesifikasi komponen dari sistem kontrol *level hotwell*. Setelah ditentukan lamda maka dilakukan perhitungan *reliability* tanpa *preventive maintenance* serta dengan *preventive maintenance*, *availability* dan *maintenability*.

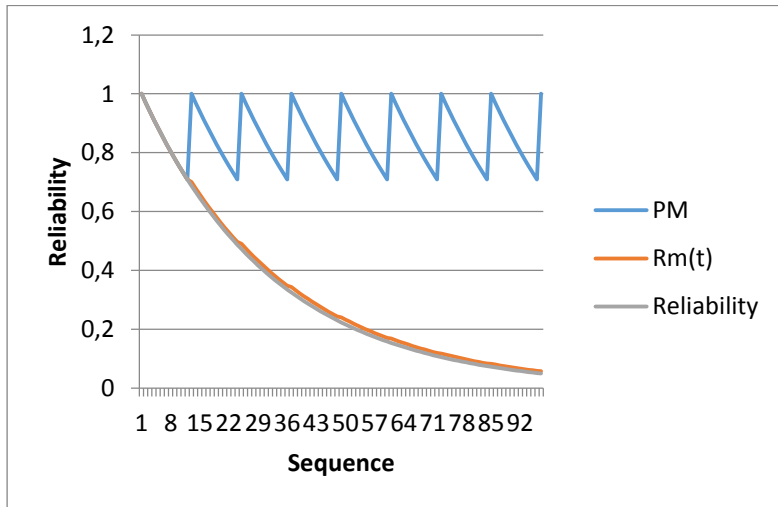


**Gambar 4. 17** *Reliability* sistem kontrol *min flow* CEP

Dari gambar 4.17 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari sistem *min flow CEP* kontrol mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 12 *sequence* atau 0,125 siklus operasi. Jika mengasumsikan siklus operasi sistem adalah 5 tahun maka ini sama dengan 5475 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari sistem kontrol *min flow CEP* cukup baik dikarenakan tidak terjadi sebuah penurunan yang cukup drastis di masa awal pada grafik.

Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability*

0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada sistem kontrol *min flow CEP* ditunjukkan pada gambar 4.18



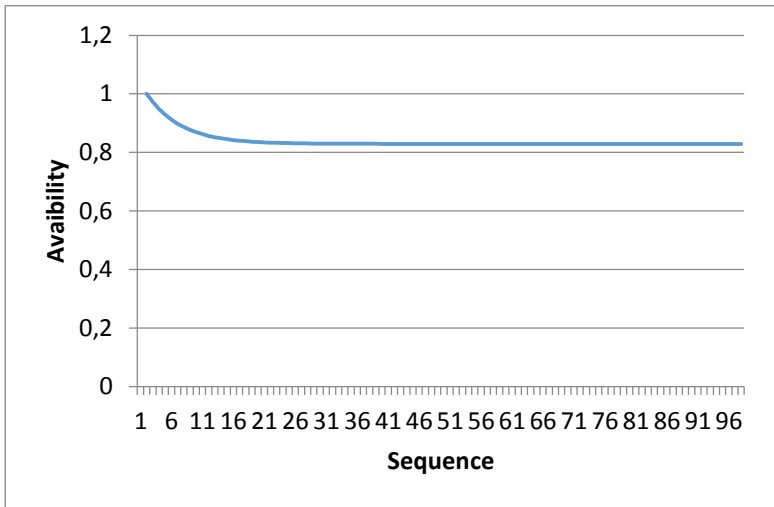
**Gambar 4. 18** Penerapan PM pada sistem kontrol *min flow CEP*.

Berdasarkan Gambar 4.18, terbukti bahwa nilai keandalan dari sistem kontrol *min flow CEP* setelah dilakukan perawatan lebih besar dari pada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis jingga Rm(t) namun tidak signifikan. Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* kurang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem kontrol pressure deaerator karena pada akhirnya akan memakan biaya yang tidak sedikit.

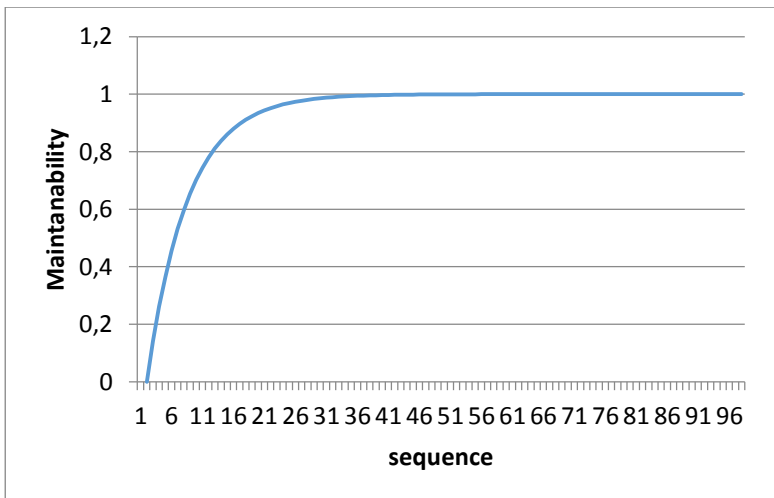
Dari gambar 4.19, sistem *min flow CEP* kontrol memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari komponen sistem *min flow CEP* kontrol tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* yang konstan adalah 82,9% pada saat  $t=29$  sequence atau 0,302 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 13231,25 jam.

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 6,6 jam. Berdasarkan gambar 4.20, sistem kontrol *level* deaerator akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t=31$

sequence atau 0,322 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 14143,75 jam.



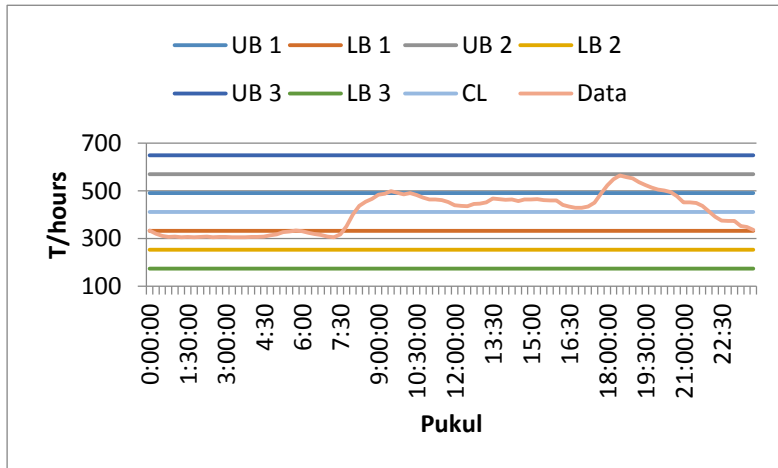
**Gambar 4. 19** *Avaibility* sistem kontrol *min flow* CEP



**Gambar 4. 20** *Maintanability* sistem *min flow* CEP kontrol

#### 4.1.5 Analisa kuantitatif pada sistem *min flow* BFP

Data variabel proses yang digunakan adalah *level* di deaerator pada tanggal 1-15 Mei 2018 setiap 15 menit sekali dengan hasil olahan pada *control chart* seperti pada gambar 4.21:



**Gambar 4. 21** *Control chart* sistem kontrol *min flow* BFP

Dari grafik pada gambar 4.21 tersebut didapatkan nilai lamda dari sistem *min flow* BFP kontrol adalah sebagai berikut:

**Tabel 4. 5** Lamda sistem kontrol *min flow* BFP

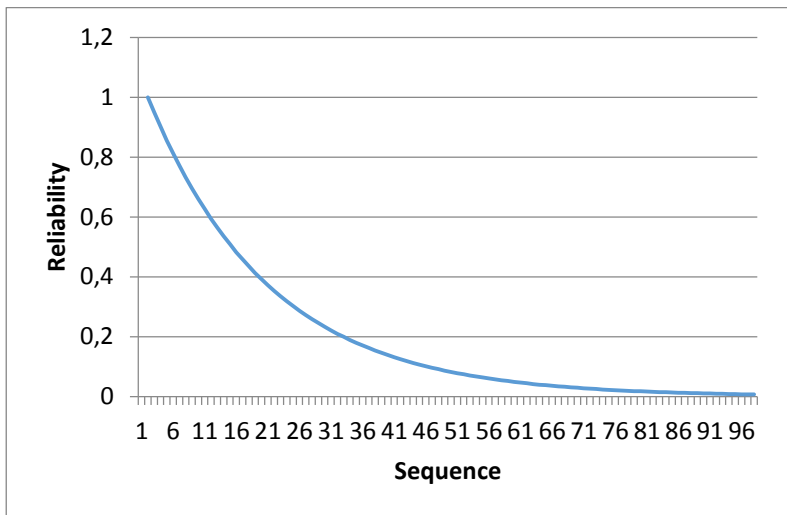
	1 $\sigma$	2 $\sigma$	3 $\sigma$
Lamda	0,4270833	0,0520833	0

Hasil lamda menunjukkan bahwa lamda yang ada mempunyai lamda yang konstan. Hal ini diasumsikan bahwa sistem kontrol *min flow* BFP sedang berada pada *usefull life* dengan jenis distribusi eksponensial dikarenakan tidak adanya data penunjang *maintenance* yang lainnya. Dari data diatas juga menunjukkan setiap nilai lamda mempunyai tingkat kepercayaan masing-masing bergantung pada daerahnya di *control chart*. Daerah *out of scoop* 1 $\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 68%,

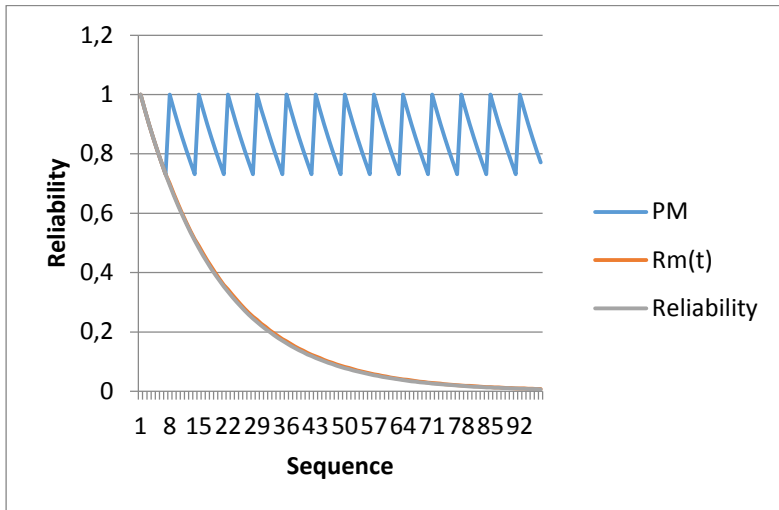
daerah *out of scoop*  $2\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 95% dan daerah *out of scoop*  $3\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 99%.

Dikarenakan komponen yang digunakan oleh PJB Gresik adalah teknologi keluaran 90an serta menggunakan tipe komponen analog maka hasil yang digunakan dan mendekati kondisi aktual adalah yang mempunyai tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan spesifikasi komponen dari sistem kontrol *level hotwell*. Setelah ditentukan lamda maka dilakukan perhitungan *reliability* tanpa *preventive maintenance* serta dengan *preventive maintenance*, *avaibility* dan *maintenability*.

Dari gambar 4.22 menunjukan bahwa nilai *reliability* dari sistem *min flow BFP* kontrol mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 7 *sequence* atau 0,072 siklus operasi. Jika mengasumsikan siklus operasi sistem adalah 5 tahun maka ini sama dengan 3193,75 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari sistem kontrol pressure deaerator kurang baik dikarenakan terjadi sebuah penurunan yang cukup drastis di masa awal pada grafik.



**Gambar 4. 22** *Reliability* sistem kontrol *min flow* BFP.



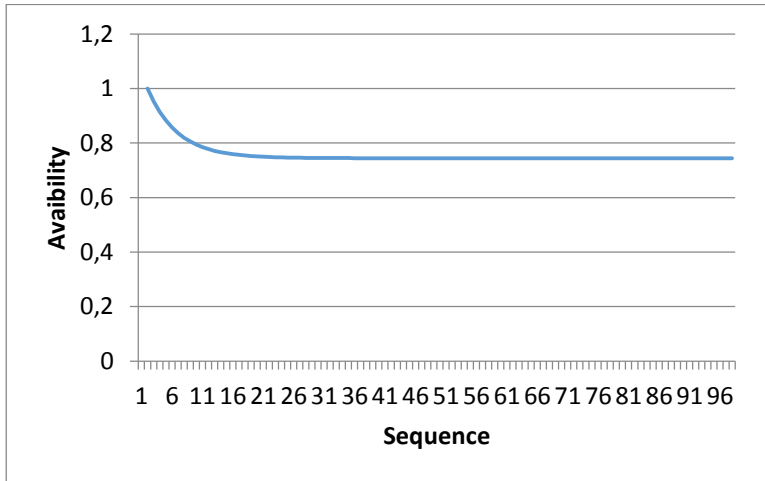
**Gambar 4. 23** Penerapan PM pada sistem kontrol *min flow BFP*.

Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance* yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada sistem kontrol *min flow BFP* ditunjukkan pada gambar 4.23. Berdasarkan Gambar 4.23, terbukti bahwa nilai keandalan dari sistem kontrol *min flow BFP* setelah dilakukan perawatan lebih besar dari pada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis jingga  $R_m(t)$  namun tidak terlalu signifikan juga sangat banyak. Hal ini membuktikan tindakan *preventive maintenance* kurang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem kontrol *min flow BFP* karena pada akhirnya akan memakan biaya yang tidak sedikit.

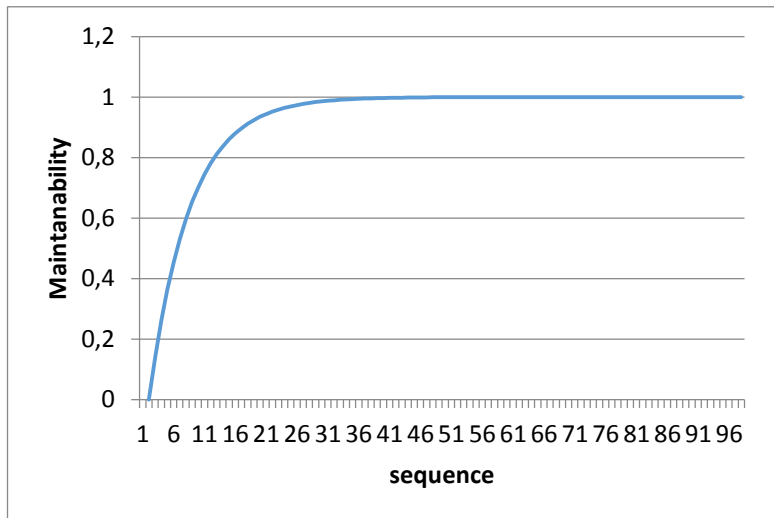
Dari gambar 4.24, sistem *min flow BFP* memiliki *availability* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari komponen sistem *min flow BFP* kontrol tinggi dengan dibuktikan nilai *availability* yang konstan adalah 74,4% pada saat  $t=29$  sequence atau 0,302 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 13231,25 jam.

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 6,6 jam. Berdasarkan gambar 4.25, sistem kontrol *min*

*flow BFP* akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t=31$  sequence atau 0,322 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 14143,75 jam.



**Gambar 4. 24** *Avaibility* sistem kontrol *min flow* BFP



**Gambar 4. 25** *Maintainability* sistem *min flow* kontrol BFP



#### 4.1.6 Analisa kuantitatif pada sistem kontrol *level steam drum*

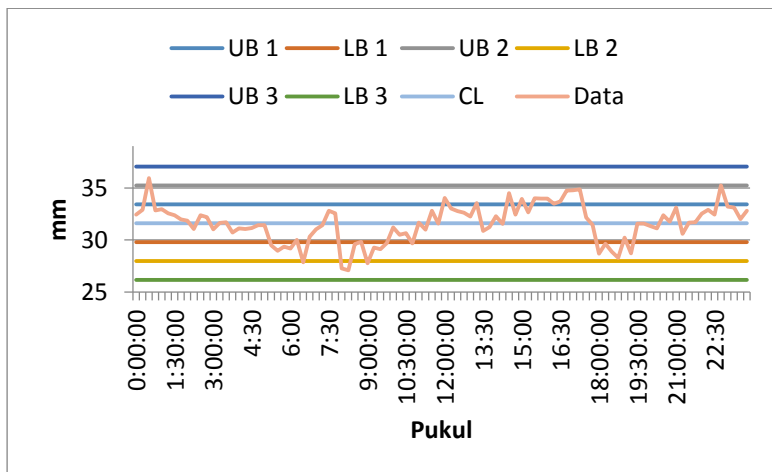
Data variabel proses yang digunakan adalah *level* di *steam drum* pada tanggal 1-15 Mei 2018 setiap 15 menit sekali dengan hasil olahan pada *control chart* seperti pada gambar 4.26.

Dari grafik pada gambar 4.26 didapatkan nilai lamda dari sistem *level steam drum* kontrol adalah seperti pada tabel 4.6.

Hasil lamda menunjukkan bahwa lamda yang ada mempunyai lamda yang konstan. Hal ini diasumsikan bahwa sistem kontrol *level steam drum* sedang berada pada *usefull life* dengan jenis distribusi eksponensial dikarenakan tidak adanya data penunjang *maintenance* yang lainnya. Dari data diatas juga menunjukkan setiap nilai lamda mempunyai tingkat kepercayaan masing-masing bergantung pada daerahnya di *control chart*. Daerah *out of scoop*  $1\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 68%, daerah *out of scoop*  $2\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 95% dan daerah *out of scoop*  $3\sigma$  mempunyai tingkat kepercayaan 99%.

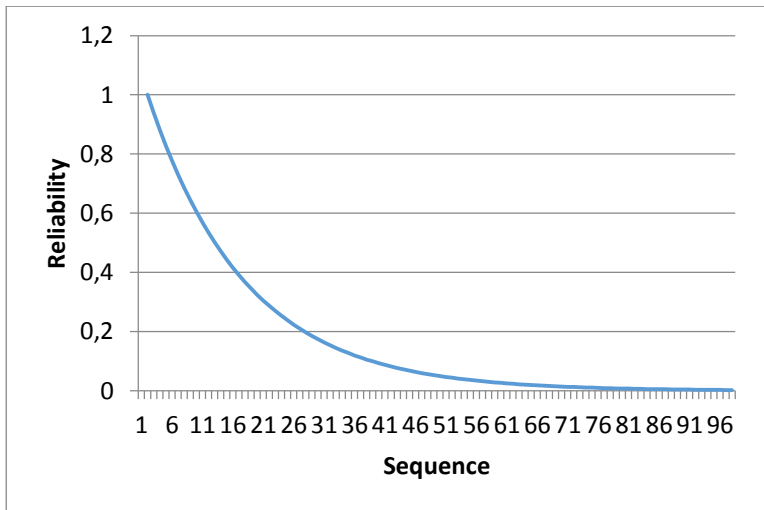
**Tabel 4. 6** Lamda sistem *level steam drum* kontrol

	1 $\sigma$	2 $\sigma$	3 $\sigma$
lamda	0,333333333	0,0625	0



**Gambar 4. 26** Control chart sistem kontrol *level steam drum*

Dikarenakan komponen yang digunakan oleh PJB Gresik adalah teknologi keluaran 90an serta menggunakan tipe komponen analog maka hasil yang digunakan dan mendekati kondisi aktual adalah yang mempunyai tingkat kepercayaan 95% sesuai dengan spesifikasi komponen dari sistem kontrol *level hotwell*. Setelah ditentukan lamda maka dilakukan perhitungan *reliability* tanpa *preventive maintenance* serta dengan *preventive maintenance*, *availability* dan *maintenability*.



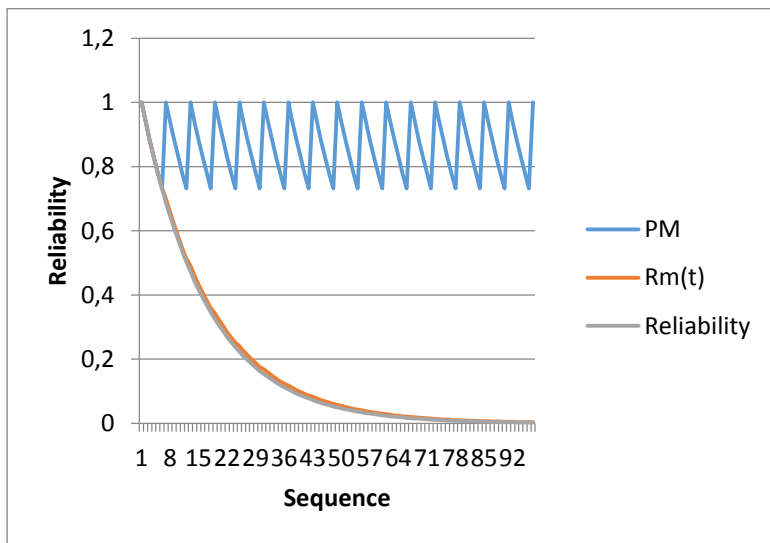
**Gambar 4. 27** *Reliability sistem level steam drum*

Dari gambar 4.27 menunjukkan bahwa nilai *reliability* dari sistem *pressure deaerator* kontrol mengalami penurunan menuju *reliability* 0,7 atau 70% setelah komponen beroperasi selama 6 *sequence* atau 0,0625 siklus operasi. Jika mengasumsikan siklus operasi sistem adalah 5 tahun maka ini sama dengan 2737,5 jam. Ini membuktikan bahwa *reliability* dari sistem kontrol *level steam drum* cukup baik dikarenakan grafik dari sistem tidak mengalami penurunan secara drastis.

Kemudian apabila *preventive maintenance* diimplementasikan pada sistem dengan acuan standar *reliability* 0,7, maka ilustrasi hasil implementasi *preventive maintenance*

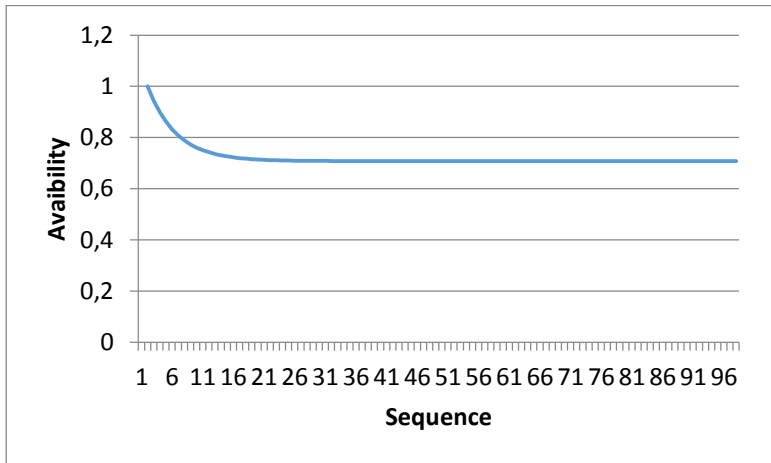
yang secara kumulatif (terus-menerus) diterapkan pada sistem kontrol *level steam drum* ditunjukkan pada gambar 4.28

Berdasarkan Gambar 4.28, terbukti bahwa nilai keandalan dari sistem kontrol *level steam drum* setelah dilakukan perawatan lebih besar dari pada sebelum dilakukan perawatan yang ditunjukkan pada garis jingga  $R_m(t)$  namun tidak terlalu signifikan. Hal ini membuktikan tindakan preventive maintenance kurang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem kontrol *level steam drum* karena pada akhirnya akan memakan biaya yang tidak sedikit.

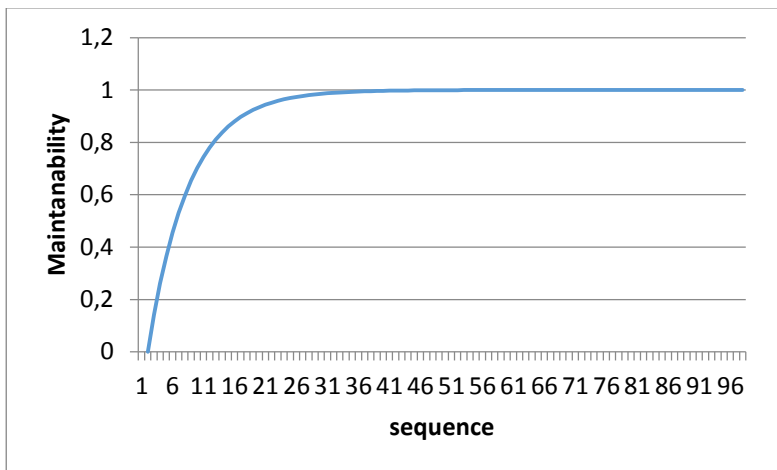


**Gambar 4. 28** Penerapan PM pada sistem kontrol *level steam drum*

Dari gambar 4.29 sistem *level steam drum* kontrol memiliki *avaibility* yang cukup tinggi ini mengartikan bahwa tingkat ketersediaan dari komponen sistem *level steam drum* kontrol tinggi dengan dibuktikan nilai *avaibility* yang konstan adalah 70,79% pada saat  $t=43$  sequence atau 0,447 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 19618,75 jam.



**Gambar 4. 29** *Avaibility sistem kontrol level steam drum*



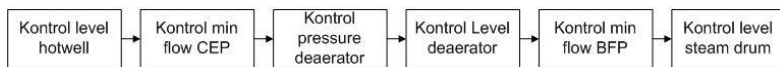
**Gambar 4. 30** *Maintainability sistem kontrol level steam drum*

Untuk perhitungan *maintainability* digunakan nilai MTTR sebesar 6,6 jam. Berdasarkan gambar 4.5 , sistem kontrol *level* deaerator akan mencapai *maintainability* sebesar 99% saat  $t=31$

sequence atau 0,322 siklus operasi yang jika diasumsikan siklus operasi 5 tahun adalah 14143,75 jam.

#### 4.1.7 Analisa kuantitatif pada sistem *boiler feedwater*

Analisa kuantitatif keseluruhan sistem *boiler feedwater* menggunakan rangkaian seri dikarenakan susunan dari setiap sistem saling mempengaruhi dan tersusun secara seri dalam satu line PFD. Berikut adalah gambar dari *reliability block diagram* dari sistem *boiler feedwater*.



**Gambar 4. 31** *Reliability Block Diagram* sistem *boiler feedwater*

Dengan menggunakan hasil lamda yang telah didapatkan maka *reliability* total dari sistem *boiler feedwater* bisa dihitung dengan persamaan 2.25 dikarenakan susunan dari *boiler feedwater* seri. *Reliability* pada saat  $t=2$  sequence didapatkan sebagai berikut:

- Untuk sistem *boiler feedwater* tanpa PM

$$R1 = 0,979382181$$

$$R2 = 0,901075106$$

$$R3 = 0,864302894$$

$$R4 = 0,939413063$$

$$R5 = 0,901075106$$

$$R6 = 0,882496903$$

$$R_{total} = R1 \times R2 \times R3 \times R4 \times R5 \times R6$$

$$= 0,569784$$

- Untuk sistem *boiler feedwater* dengan PM ketika sistem kontrol mempunyai  $R=0,7$

$$R1 = 0,979382181$$

$$R2 = 0,901075106$$

$$R3 = 0,864302894$$

$$R4 = 0,939413063$$

$$R5 = 0,901075106$$

$$R6 = 0,882496903$$

$$\begin{aligned}
 R_{\text{total}} &= R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 \times R_6 \\
 &= 0,569784
 \end{aligned}$$

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa *reliability* dari sistem *feedwater* pada PJB Gresik sama ketika sistem tidak mendapatkan *preventive maintenance* dan mendapatkan *preventive maintenance* dengan standar persistem  $R=0,7$  saat  $t=2$  sequence. Hal ini juga mengartikan bahwa *reliability* sistem boiler *feedwater* digaransi berjalan dengan baik sampai  $t=2$  sequence dengan standar yakni 0,5.

## 4.2 Analisis Kualitatif

Pada penelitian tugas akhir ini, evaluasi kualitatif dilakukan pada setiap komponen penyusun sistem *boiler feedwater* adalah berupa penjelasan fungsi (*system function*) kemudian diikuti dengan hasil pengolahan data yang disajikan dalam bentuk FMEA dan tabel *decision worksheet*. Evaluasi kualitatif ini sebagai data pendukung bagaimana pengambilan tindakan saat perawatan dan didapatkan melalui hasil wawancara dengan karyawan bagian kontrol dan instrumen di PJB Gresik.

### 4.2.1 Evaluasi Kualitatif sistem kontrol *level deaerator*

**Tabel 4. 7** FMEA sistem kontrol *level deaerator*

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
LX 55-01	memba ca nilai dari <i>level storage tank deaerator</i>	tidak bisa memba ca nilai dengan baik	<i>abnorm al</i> instrum en <i>reading</i>	<i>life time</i> ,Relay pneumatik rusak,Regul ator udara <i>supply</i> rusak	Kesalah an pembaca an

**Tabel 4. 7** Lanjutan

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
LC 55-11	Mengkonversi nilai digital ke analog yakni pneumatik	tidak bisa mengkonversi nilai dengan baik	respon kontrol melemah	kotor, <i>life time</i>	respon kontrol melemah, kurang akurat
LV 55-11	sebagai aktuatur dari kontroler	tidak bisa mengontrol variabel proses	Pengaturan <i>level</i> tidak akurat	Nozzle pneumatik atau relay positioner kotor, membran dalam kurang elastis, <i>lifetimed</i> ,	bila high akan mempengaruhi temperatur dalam deaerator, bila low merusak BFP

Fungsi dari sistem kontrol *level* deaerator ini adalah untuk menjaga *level* di deaerator agar sesuai dengan *set point* guna menjadi *supply feedwater* untuk BFP. agar memastikan adanya air untuk dipompa oleh BFP. Tabel 4.7 menunjukkan hasil FMEA dari komponen-komponen sistem kontrol *level* deaerator.

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen-komponen sistem kontrol *level* deaerator tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision worksheet* yang ditunjukkan pada Tabel 4.8. Sehingga hal ini memperkuat jika sistem ini kurang efektif dengan tindakan *preventive maintenance*

**Tabel 4. 8** *Decision Worksheet* sistem kontrol *level* deaerator

Komponen	consequences evaluation				H 1	H 2	H 3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S 1 N 1 O 1	S 2 N 2 O 2	S 3 N 3 O 3	H 4	H 5	S 4	
LX 55-01	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
LC 55-11	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
LV 55-11	Y	N	N	Y	N	Y					Restoration Task

#### 4.2.2 Evaluasi Kualitatif sistem kontrol *pressure* deaerator

**Tabel 4. 9** FMEA sistem kontrol *pressure* deaerator

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
PT 45-01	membaca nilai <i>pressure</i> dari deaerator	tidak bisa membaca nilai dengan baik	<i>abnormal</i> instrumen <i>reading</i>	<i>life time</i>	Kesalahan pembacaan



**Tabel 4. 9** Lanjutan

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
PC 45-11	Mengkonversi nilai digital ke analog yakni pneumatik	tidak bisa mengkonversi nilai dengan baik	respons kontrol melemah	kotor, <i>life time</i>	respons kontrol melemah, kurang akurat
FV 45-01	sebagai aktuatur dari kontroler	tidak bisa mengontrol variabel proses	Pengaturan <i>pressure</i> tidak akurat	Nozzle pneumatik atau relay positioner kotor, membran dalam kurang elastis, <i>lifetime</i> ,	<i>over heating</i> di deaerator , kandungan DO besar dalam <i>feedwater</i>

Fungsi dari sistem kontrol *pressure* deaerator ini adalah untuk menjaga *pressure* di deaerator agar sesuai dengan *set point* guna mengoptimalkan kerja dari deaerator untuk menghilangkan DO pada *feedwater*. Jika pada deaerator tidak bisa bekerja dengan optimal akibatnya ialah bisa menimbulkan pengkaratan pada komponen-komponen selanjutnya. Tabel 4.9 menunjukkan hasil FMEA dari komponen-komponen sistem kontrol *pressure* deaerator.

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen-komponen sistem kontrol *pressure* deaerator tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision worksheet* yang ditunjukkan pada Tabel 4.10

**Tabel 4. 10** *Decision worksheet* sistem kontrol *pressure* deaerator

Komponen	consequence s evaluation				H 1	H 2	H 3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S 1 N 1 O 1	S 2 N 2 O 2	S 3 N 3 O 3	H 4	H 5	S 4	
PT 45-01	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
PC 45-11	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
FV 45-01	Y	N	N	Y	N	Y					Restorati on Task

#### 4.2.3 Evaluasi Kualitatif sistem kontrol *level hotwell*

**Tabel 4. 11** FMEA sistem kontrol *level hotwell*

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
LX 50-11	membaca <i>level hotwell</i>	tidak bisa membaca nilai dengan baik	<i>abnormal</i> instrumen <i>reading</i>	<i>life time</i> , Relay pneumatik rusak, Regulator udara <i>supply</i> rusak	Kesalahan pembacaan

**Tabel 4. 11** Lanjutan

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
LC 50-11	Mengkonversi nilai digital ke analog yakni pneumatik	tidak bisa mengkonversi nilai dengan baik	respon kontrol melemah	kotor, <i>life time</i>	respon kontrol melemah, kurang akurat
LV 50-12	sebagai aktuatur dari kontroler	tidak bisa mengontrol variabel proses	Pengaturan <i>level</i> tidak akurat	Nozzle pneumatik atau relay positioner kotor, membran dalam kurang elastis, <i>lifetimed</i> ,	bila high akan mempengaruhi temperatur dalam kondenser, bila low merusak CEP

**Tabel 4. 12** *Decision worksheet sistem kontrol level hotwell*

Komponen	consequence evaluation				H1	H2	H3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S1 N1 O1	S2 N2 O2	S3 N3 O3	H4	H5	S4	
LX 50-11	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task

**Tabel 4. 12** Lanjutan

Komponen	consequence s evaluation				H 1	H 2	H 3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S 1 N 1 O 1	S 2 N 2 O 2	S 3 N 3 O 3	H 4	H 5	S 4	
LC 50-11	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
LV 50-12	Y	N	N	Y	N	Y					Restorati on Task

Fungsi dari sistem kontrol *level hotwell* ini adalah untuk menjaga *level* yang ada di *hotwell* agar sesuai dengan *set point* guna menjadi penyedia *feedwater* ke CEP sehingga bisa memastikan *plant* bisa terus beroperasi Tabel 4.11 menunjukkan hasil FMEA dari komponen-komponen sistem kontrol *level* deaerator.

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen-komponen sistem kontrol *level hotwell* tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision worksheet* yang ditunjukkan pada Tabel 4.12

#### 4.2.4 Evaluasi Kualitatif sistem kontrol *min flow* CEP

Fungsi dari sistem kontrol *min flow* CEP ini adalah untuk menjaga aliran keluaran CEP sesuai *set point* karena hal itu menandakan juga ketersediaan *feedwater* yang akan dipompa ke proses selanjutnya. Jika *flow* tidak sesuai *set point* maka aliran hasil pompa CEP akan dikembalikan lagi ke *hotwell* untuk memastikan *feedwater* benar-benar mencukupi untuk digunakan dalam proses *power plant*. Tabel 4.13 menunjukkan hasil FMEA dari komponen-komponen sistem kontrol *min flow* CEP.

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen-komponen sistem kontrol *min flow* CEP

tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision worksheet* yang ditunjukkan pada Tabel 4.14.

**Tabel 4. 13** FMEA sistem kontrol *min flow* CEP

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
FX 23-11	membaca nilai <i>flow</i> setalah dari CEP	tidak bisa membaca nilai dengan baik	<i>abnormal</i> instrumen <i>reading</i>	<i>lifetime</i>	Kesalahan pembacaan
FC 23-11	Mengkonversi nilai digital ke analog yakni pneumatik	tidak bisa mengkonversi nilai dengan baik	respon kontrol melemah	kotor, <i>life time</i>	respon kontrol melemah, kurang akurat
FV 23-11	sebagai aktuatur dari kontroler	tidak bisa mengontrol variabel proses	<i>min flow</i> tidak bekerja	relay rusak/kotor, <i>lifetime</i>	merusak CEP

**Tabel 4. 14** *Decision worksheet* sistem kontrol *min flow* CEP

Komponen	consequence evaluation				H 1	H 2	H 3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S1 N1 O1	S2 N2 O2	S3 N3 O3	H4	H5	S4	
FX 23-11	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task

**Tabel 4. 14** Lanjutan

Komponen	consequence s evaluation				H 1	H 2	H 3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S 1 N 1 O 1	S 2 N 2 O 2	S 3 N 3 O 3	H 4	H 5	S 4	
FC 23-11	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
FV 23-11	Y	N	N	Y	N	Y					Restorati on Task

#### 4.2.5 Evaluasi Kualitatif sistem kontrol *min flow* BFP

Fungsi dari sistem kontrol *min flow* BFP ini adalah untuk menjaga aliran keluaran BFP sesuai set point karena hal itu menandakan juga ketersediaan *feedwater* yang akan dipompa ke proses selanjutnya. Jika *flow* tidak sesuai set point maka aliran hasil pompa BFP akan dikembalikan lagi ke deaerator untuk memastikan *feedwater* benar-benar mencukupi untuk digunakan dalam proses *power plant*. Tabel 4.15 menunjukkan hasil FMEA dari komponen-komponen sistem kontrol *min flow* BFP

**Tabel 4. 15** FMEA *Min flow* BFP

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
FX 21	membaca nilai <i>flow</i> setelah dari BFP	tidak bisa membaca nilai dengan baik	<i>abnormal</i> instrumen <i>reading</i>	<i>lifetime</i>	Kesalahan pembacaan

**Tabel 4. 15** Lanjutan

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
FC 21	Mengkonversi nilai digital ke analog yakni pneumatik	idak bisa mengkonversi nilai dengan baik	Relay rusak	kotor, <i>life time</i>	Tidak bisa bekerja <i>a min flow</i> BFP
V2-031	sebagai aktuator dari kontroler	tidak bisa mengontrol variabel proses	<i>min flow</i> tidak bekerja	relay rusak/kotor, <i>lifetime</i>	merusak BFP

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen-komponen sistem kontrol *min flow* BFP tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision worksheet* yang ditunjukkan pada Tabel 4.16.

**Tabel 4. 16** *Decision worksheet* sistem kontrol *min flow* BFP

Komponen	consequence s evaluation				H 1	H 2	H 3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S 1	S 2	S 3	H 4	H 5	S 4	
FX 21	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
FC 21	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
V2-031	Y	N	N	Y	N	Y					Restorati on Task

#### 4.2.6 Evaluasi Kualitatif sistem kontrol *level steam drum*

Fungsi dari sistem kontrol *level steam drum* ini adalah untuk menjaga *level* yang ada di *steam drum* agar sesuai dengan *set point* guna memastikan bahan baku untuk *boiler* tersedia dengan baik. Tabel 4.17 menunjukkan hasil FMEA dari komponen-komponen sistem kontrol *level steam drum*

Berdasarkan kegagalan-kegagalan yang telah dijabarkan yang terjadi pada komponen-komponen sistem kontrol *min flow* BFP tersebut, tindakan yang dapat direkomendasikan dirumuskan pada tabel *decision worksheet* yang ditunjukkan pada Tabel 4.18.

**Tabel 4. 17** FMEA sistem kontrol *steam drum*

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
LX 01	membaca nilai dari <i>level hotwell</i>	tidak bisa membaca nilai dengan baik	<i>abnormal</i> instrumen <i>reading</i>	<i>life time</i> , Relay pneumatik rusak, Regulator udara <i>supply</i> rusak	Kesalahan pembacaan
LC 01	Mengkonversi nilai digital ke analog yakni pneumatik	tidak bisa mengkonversi nilai dengan baik	respons kontrol melemah	kotor, <i>life time</i>	respons kontrol melemah, kurang akurat



**Tabel 4. 17** Lanjutan

Komponen	information reference				
	F	FF	FM	FC	FE
FV 21	sebagai aktuatur dari kontroler	tidak bisa mengontrol variabel proses	Pengaturan <i>level</i> tidak akurat	Nozzle pneumatik atau relay positioner kotor, membran dalam kurang elastis, <i>lifetime</i> ,	bila high akan mempengaruhi temperatur e dalam kondenser, bila low merusak CEP

**Tabel 4. 18** *Decision Worksheet* sistem kontrol *steam drum*

Komponen	consequence s evaluation				H 1	H 2	H 3	default action			proposed task
	H	S	E	O	S 1	S 2	S 3	H 4	H 5	S 4	
					N 1	N 2	N 3				
					O 1	O 2	O 3				
LX 01	Y	N	N	Y	N	N	Y				Discard task
FV 21	Y	N	N	Y	N	Y					Restorati on Task

### 4.3 Perhitungan Biaya Operasional

Biaya operasional dihitung dengan persamaan 2.22-2.25. Berikut salah satu contoh perhitungan dari sistem *level deaerator*.

#### a. Biaya Preventive Maintenance

Biaya perawatan terdiri dari biaya tenaga kerja (upah lembur) dan treatment *cost* misalnya untuk minyak pelumas, dan penggantian komponen kecil seperti sekrup, mur, dan baut. .

Kegiatan perawatan pencegahan dilakukan diluar jam operasi. Karena perawatan pencegahan dilakukan diluar jam kerja normal maka biaya tenaga perawatan menjadi upah lembur . Upah lembur didapatkan dari gaji UMR di kabupaten gresik dibagi dengan jumlah jam kerja selama satu bulan. Untuk jumlah pekerja ketika preventive *maintenance* serta waktu pengerjaan didapatkan dari hasil wawancara dengan bagian *control* dan instrumentasi PJB Gresik. Perhitungannya sebagai berikut:

UMR pekerja gresik = Rp. 3.580.369,56

Jam kerja selama 1 bulan = 176 jam

Jumlah pekerja = 2 orang

Waktu pengerjaan = 6,6 jam

$N = 1$

$M = 2$

Biaya pekerja per jam = Rp. 3.580.369,56/176 jam  
 = Rp. 20.343,009  
 = \$ 19

$C_{pm}$  = Biaya pekerja per jam x jumlah pekerja x waktu pengerjaan

$C_{pm}$  = \$19 x 2 orang x 6,6 jam

$C_{PM}$  =  $M \times C_{pm} \times N$   
 = \$ 501,6

b. Biaya *Corrective Maintenance*

Biaya *corrective maintenance* adalah biaya yang dibutuhkan untuk memperbaiki sebuah komponen jika terdapat sebuah kerusakan. Seperti yang dijelaskan bab sebelumnya variabel yang mempengaruhi biaya *corrective maintenance* ialah lamda sedangkan untuk biaya *corrective maintenance* telah didapatkan melalui jurnal sehingga perhitungan biaya *corrective maintenance*.

- LX 55-01  
 MTTR = 2,2 jam

$$\text{Harga} = \$25.000$$

$$C_{cm} = \$50/\text{jam} + 10\% \text{ harga} \\ = \$2.610$$

- LC 55-01

$$\text{MTTR} = 2,2 \text{ jam}$$

$$\text{Harga} = \$60.000$$

$$C_{cm} = \$60/\text{jam} + 15\% \text{ harga} \\ = \$9.132$$

- LV 55-01

$$\text{MTTR} = 2,2 \text{ jam}$$

$$\text{Harga} = \$60.000$$

$$C_{cm} = \$60/\text{jam} + 15\% \text{ harga} \\ = \$1.860$$

- Total  $C_{cm}$

$$C_{cm} \text{ Total} = C_{cm} \text{ Transmitter} + C_{cm} \text{ Controler} + C_{cm} \text{ Aktuator} \\ = \$ 13.602 \text{ per event}$$

$$C_{CM} = \lambda \times C_{cm} \times N \\ = \$ 23.726,98$$

c. *Biaya Test Maintenance*

*Test maintenance* merupakan sebuah tindakan untuk memastikan apakah sebuah instrumen masih bekerja pada performa yang diinginkan. Pada perhitungan kali ini digunakan referensi dari jurnal torres sehingga perhitungannya selama 5 tahun sebagai berikut.

$$C_{t \text{ Total}} = \$ 440 \text{ per event}$$

$$TI = 34,24079462 \text{ sequence}$$

$$N = 1$$

$$C_T = \frac{1}{T_i} \times C_t \times N \\ = \$ 880$$

d. Biaya *Maintenance* (operational cost)

Pembiayaan total untuk *maintenance* sistem kontrol *level* deaerator dalam 5 tahun adalah penggabungan dari biaya *corrective*, *preventive* serta *Test cost* sehingga didapatkan biaya *maintenance cost* sebesar:

$$C_{OP} = C_{PM} + C_T + C_{CM}$$

$$= \$ 25.108,589$$

Pada tabel 4.19 merupakan rekapan hasil perhitungan lengkap pada semua sistem kontrol

**Tabel 4. 19** Rekapan Biaya *Maintenance*

	KONT ROL LEVEL DEAER ATOR	KONT ROL PRESS URE DEAER ATOR	KON TROL LEVE L HOT WEL L	KON TROL MIN FLO W CEP	KON TROL MIN FLO W BFP	KON TROL LEVE L STEAM DRU M
	aktual	aktual	aktual	aktual	aktual	aktual
lamda	0,01041 7	0,05208 3	0,072 917	0,031 25	0,052 083	0,062 5
t (sequen ce)	34,2407 9	6,84815 9	4,891 542	11,41 36	6,848 159	5,706 799
CPM (\$)	501,6	3511,2	4765, 2	2006, 4	3511, 2	4012, 8
CT (\$)	880	6160	8360	3520	6160	7040
CCM (\$)	23726,9 9	117574, 7	16386 2,5	70862 ,91	11757 4,7	14077 1,6
M	2	14	19	8	14	16
Total COP (\$)	25108,5 9	127245, 9	17698 7,7	76389 ,31	12724 5,9	15182 4,4

#### 4.4 Optimasi *Maintenance Cost*

Optimisasi *Maintenance cost* diwujudkan dalam meminimalisir biaya yang mempengaruhi dari *maintenance cost* diantaranya *preventive maintenance*, *corrective maintenance* dan *test cost*. Pada optimasi kali ini digunakan algoritma PSO dikarenakan PSO optimum jika mencari nilai yang minimum. Pada algoritma PSO kali ini terdapat beberapa *properties* yang akan menentukan tingkat ketepatan dari nilai optimasi nantinya yang harus ditentukan terlebih dahulu sebelum dimasukkan dalam *coding*-an matlab diantaranya:

a. Jumlah populasi

Jumlah populasi burung yang ditentukan pada optimasi kali ini berjumlah 100 burung yang akan bertugas sebagai kawanan untuk mencari mangsanya dalam hal ini nilai variabel yang optimum.

a. Jumlah variabel yang dioptimisasi

Variabel yang mempengaruhi fungsi tujuan yakni lamda, maka jumlah variabel yang dioptimisasi adalah 1 dengan 6 sistem kontrol yang dioptimasi.

b. Batas atas dan batas bawah optimisasi

Batas atas dan batas bawah optimisasi digunakan sebagai jangkauan untuk mengacak nilai-nilai variabel optimisasi agar memenuhi fungsi tujuan. Batas atas dan batas bawah diperoleh berdasarkan standar OREDA yang disesuaikan dengan pemodelan *heat exchanger*. Batas atas dan batas bawah lamda setiap sistem kontrol sebagai berikut :

- Sistem kontrol *level* deaerator =9,991E-05-0,010416667 per jam
- Sistem kontrol *pressure* deaerator =8,787E-0,489583333 per jam
- Sistem kontrol *level* hotwell =9,991E-05-0,072916667 per jam
- Sistem kontrol *min flow* CEP =8,14E-05 -0,447916667 per jam
- Sistem kontrol *min flow* BFP =8,14E-05-0,4375 per jam

- Sistem kontrol *level steam drum* =  $9,991\text{E-}05$ - $0,0625$  per jam

c. Iterasi

Iterasi digunakan untuk menentukan jumlah perputaran proses optimisasi. Pada tugas akhir ini digunakan 100 kali iterasi. Hal ini menunjukkan proses berhenti jika telah mencapai iterasi ke 100 meskipun pada akhirnya nilai optimasi konvergen sebelum iterasi ke 100 maupun masih divergen di iterasi 100.

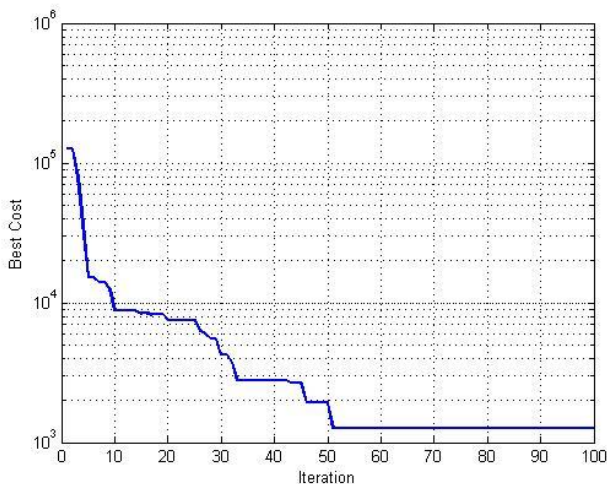
d. Inertia weight

Inertia weight disimbolkan dengan  $w$ , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya velocity yang diberikan oleh suatu partikel. Besar nilainya sendiri ditentukan oleh jurnal yakni sebesar 1.

e. Learning Rate

Suatu konstanta untuk menilai suatu partikel ( $c1$ ) dan kemampuan sosial swarm ( $c2$ ) yang menunjukkan bobot dari particle terhadap memorinya. Di tugas akhir kali ini besar nilai *learning rate* adalah sebesar 2

Sehingga didapatkanlah hasil optimasi dari proses pencarian dengan menggunakan *coding*-an matlab seperti pada gambar dibawah ini .



**Gambar 4. 32** Hasil Optimasi PSO berdasarkan COP total minimum

Pada gambar 4.32 menunjukkan bahwa nilai mulai konvergen pada angka COP total sebesar \$ 1.256,47 Sehingga dari grafik inilah bisa diketahui juga besaran angka lamda optimasi pada setiap individu. Besarnya lamda berada diantara batas bawah dan batas atas yang berbeda-beda sesuai dengan sistem kontrol yang akan dioptimasi. Berikut adalah hasil lamda optimasi untuk sistem kontrol *level deaerator* sebesar 9,99E-05, untuk sistem kontrol *pressure deaerator* sebesar 8,79E-05, untuk sistem kontrol *level hotwell* sebesar 9,99E-05, untuk sistem kontrol *min flow CEP* sebesar 8,14E-05, untuk sistem kontrol *min flow BFP* sebesar 8,14E-05 dan untuk sistem kontrol *level steam drum* sebesar 9,99E-05 Berikut perbandingan biaya *maintenance* dari hasil optimasi dan sebelum.

**Tabel 4. 20** Perbandingan sistem *feedwater* sebelum dan sesudah optimasi

	KONT ROL LEVEL DEAER ATOR		KONT ROL PRESS URE DEAER ATOR		KONT ROL LEVEL HOTW ELL		KONT ROL MIN FLOW CEP		KONT ROL MIN FLOW BFP		KONT ROL LEVE L STEA M DRUM	
	akt ual	op ti m asi	akt ual	op ti m asi	akt ual	op ti m asi	akt ual	op ti m asi	a kt u al	op ti m asi	a kt u al	op ti m asi
la m d a	0,0 10 41 7	9, 99 E- 05	0,4 89 58 3	8, 79 E- 05	0,0 72 91 7	9, 99 E- 05	0,4 47 91 7	8, 14 E- 05	0, 4 3 7 5	8, 14 E- 05	0, 0 6 2 5	9, 99 E- 05

**Tabel 4. 20** Lanjutan

	KONTROL LEVEL DEAE RATOR		KONTROL PRESSURE DEAE RATOR		KONTROL LEVEL HOTWELL		KONTROL MIN FLOW CEP		KONTROL MIN FLOW BFP		KONTROL LEVEL STEAM DRUM	
	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal
t (Sequenece)	10,1461	10,5454	0,215204	11,99,05	1,444944	10,54,54	0,235223	12,94,355	0,240824	12,94,355	1,685768	10,54,54
CPM (\$)	2006,4	0	111606	0	16302	0	102075,6	0	99567,6	0	13794	0
CT (\$)	348,0115	0	909832,5	0	19793,15	0	761318,6	0	725342,9	0	14355,47	0



**Tabel 4. 20** Lanjutan

	KONTROL LEVEL DEAE RATOR		KONTROL PRESSURE DEAE RATOR		KONTROL LEVEL HOTWELL		KONTROL MIN FLOW CEP		KONTROL MIN FLOW BFP		KONTROL LEVEL STEAM DRUM	
	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal	aktual	optimal
C C M ( \$ )	23726,99	15766,46	69166320	13866,51	11327422	15766,46	63910116	12845,51	62577743	12845,51	9731206	15766,46
M	8	0	445	0	65	0	407	0	397	0	55	0
T o t a l C O P ( \$ )	26081,4	15766,46	70187759	13866,51	11363517	15766,46	64773510	12845,51	63402653	12845,51	9759355	15766,46

Dari hasil diatas sangat memungkinkan bisa terjadi dikarenakan semakin bagus lamda dari sebuah sistem maka frekuensi *maintenance* akan berkurang begitupun juga dengan time interval yang akan semakin lama sehingga biaya *Test cost* bisa ditekan semaksimal mungkin. Meskipun harga biaya

komponen semakin mahal ketika lamda semakin bagus, hal ini juga berbanding terbalik dengan frekuensi *corrective maintenance* yang dilakukan sehingga PSO terbukti dapat mencari nilai lamda yang bisa mengurangi biaya *maintenance cost* dengan efektif dengan menghemat \$ 683.545,41.

Maka dari itu kesimpulan dari hasil diatas adalah merekomendasi PJB Gresik untuk mengganti komponen dari sistem *feedwater* dengan komponen yang mempunyai lamda sebesar dari hasil optimasi agar bisa meminimalisir biaya serta meningkatkan keandalan dari sistem *feedwater* itu sendiri.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Optimisasi *maintenance* pada RCM dengan menggunakan algoritma PSO di sistem *boiler feedwater* unit 3 PT PJB PLTU Gresik dengan hasil sebagai berikut.

- a. *Reliability* sistem *Boiler feedwater* saat  $t=2$  sequence di PT PJB UP Gresik mempunyai nilai 0,569784 dengan nilai *availability* dan *maintainability* untuk sistem kontrol *level* deaerator sebesar 93,5% pada  $t=0,71$  siklus operasi dan 99% pada  $t=0,322$  siklus operasi, untuk sistem kontrol *pressure* deaerator sebesar 74,4% pada  $t=0,302$  siklus operasi dan 99% pada  $t=0,322$  siklus operasi, sistem kontrol *level hotwell* sebesar 67,5% pada  $t=0,281$  siklus operasi dan 99% pada  $t=0,322$  siklus operasi, untuk sistem *min flow* CEP sebesar 82,9% pada  $t=0,302$  siklus operasi dan 99% pada  $t=0,322$  siklus operasi, untuk sistem *min flow* BFP sebesar 74,4 % pada  $t=0,302$  siklus operasi dan 99% pada  $t=0,322$  siklus operasi, untuk sistem kontrol *steam drum* sebesar 70,79% pada  $t=0,447$  siklus operasi jam dan 99% pada  $t=0,322$  siklus operasi.
- b. Algoritma PSO terbukti mengoptimalkan biaya *maintenance* dari PT PJB UP Gresik dengan selisih biaya setelah optimasi \$683.545,41 dengan perhitungan selama satu siklus operasi.
- c. Merekomendasikan PJB Gresik untuk mengganti komponen-komponen sistem *feedwater* yang dibawah standar PJB dengan sistem yang mempunyai lamda sebesar hasil optimasi atau menerapkan metode *maintenance* sesuai hasil kualitatif penelitian ini.

### **5.2 Saran**

Dari hasil tugas akhir ini dapat diberikan beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya antara lain :

- a. Mencari perusahaan dengan data *historical maintenance* yang tersedia jika ingin melakukan penelitian yang serupa agar hasil lebih akurat.

- b. Untuk harga setiap komponen diharapkan mencari referensi yang lebih banyak lagi agar hasil pembiayaan *maintenance* bisa lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sari, "sir.stikom.edu," Stikom, 2012. [Online]. Available: [http://sir.stikom.edu/1110/6/BAB\\_II.pdf](http://sir.stikom.edu/1110/6/BAB_II.pdf). [Accessed 26 Juli 2018].
- [2] Vileiniskis, "Fault detection and diagnostics of a three-phase separator," *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, vol. 41, pp. 215-230, 2016.
- [3] El-Damcese, "Suggested procedure for preventive maintenance policy," *Microelectronics Reliability*, no. 37, pp. 1173-117, 1997.
- [4] Hoyland, "System reliability theory: Models and statistical," Wiley, 1994.
- [5] Jeong, "Failure mechanism and reliability test method for USB interface circuitry on CPUs for mobile devices," *Microelectronics Reliability*, no. 52, pp. 2014-2018, 2012.
- [6] Arora and Kumar, "Availability analysis of Steam and Power Generation Systems in the Thermal Power Plant," *Microelectronics Reliability*, no. 37 (5), pp. 795-799, 1997.
- [7] Adhikary, Bose, Mitra and Bose, "Reliability, Maintainability & Availability analysis of a coal fired power plant in eastern region of India," *Proceedings of the 2nd International Conference on Production and Industrial Engineering (CPIE 2010)*, pp. 1505-1513, 2010.
- [8] A. Musyafa, S. Kusumawardhani, R. D. Noriyati and H. Justiono, "Evaluation of the Reliability and Prediction Maintenance on the Air Compressor System in Ammonia Plant PT. Petrokimia Gresik," *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, pp. 853-862, 2015.
- [9] A. B. & A. A., "The Efficiency of Particle Swarm

- Optimization Applied on Fuzzy Logic DC Motor Speed Control," *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 5, pp. 247-262, 2008.
- [10] C. E. Ebeling, *An Introduction to Reliability and*, Singapore: The Mc.Graw-Hill, 1997.
- [11] Dhillon, *Reliability, Quality and Safety for Engineers*, Florida, USA: CRC Press, 2005.
- [12] Priyatna, *Keandalan dan Perawatan*, 2000.
- [13] L. Grant, *Pengendalian Mutu Statistik*, Jakarta: Eirlangga, 1994.
- [14] R. Muchlis, *Pengendalian Kualitas Statistika*, Jakarta-Bandung: Pustaka Ceria, 2010.
- [15] A. Musyafa, *Teknik Kalibrasi*, surabaya: Revka Petra Media, 2016.
- [16] D. Kurniawan, *Tabel Distribusi*, Forum Statistika, 2008.
- [17] J. Moubray, *Reliability Centered Maintenance II*, 2nd, North Carolina, USA: Industrial Press Inc, 1997.
- [18] Torres-Echeverri'a, "Design optimization of a safety-instrumented system based on RAMS+C addressing IEC 61508 requirements and diverse redundancy," *Elsevier*, pp. 162-179, 2009.
- [19] Y. &. Guenounon, "Optimal Fuzzy MPPT Control Based PSO ALgorithm for Photovoltaic System," *I.J.C.T.A*, vol. 9, pp. 719-731, 2016.
- [20] S. Y and E. RC, " Parameter selection in particle swarm optimization," *In: The proceedings of evolutionary programming VII (EP98)*, pp. 591-600, 1998.
- [21] P. Suganthan, "Particle swarm optimizer with neighbourhood operator," *Proceedings of the Congress on Evolutionary*

*Computation*, pp. 1958-1962, 1999.

- [22] A. C. Torres-Echeverria, "Modelling and Optimization of Safety Instrumented Systems Based on Dependability and Cost Measures.," *The University Of Sheffield*, p. 281, 2009.
- [23] P.-C. Cheng, B.-R. Peng, Y.-H. Liu and Y.-S. Cheng, "Optimization of a Fuzzy-Logic-Control-Based MPPT Algorithm Using the Particle Swarm Optimization Technique," *Energies*, no. 8, pp. 5338-5360, 2015.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LAMPIRAN

### A. Koding Optimisasi *Maintenance cost* menggunakan Metode algoritma PSO pada Software MATLAB

- Algoritma PSO

%PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

```
clc;  
clear;  
close all;
```

%% Problem Definition

*CostFunction*=@(x) (fobjco2foameor(x));      % *Cost Function*

Dimension=6;      % Number of *Decision Variables*

VarSize=[1 Dimension]; % Size of *Decision Variables Matrix*

LB = [9.991E-05 8.787E-05 9.991E-05 8.14E-05 8.14E-05 9.991E-05 ];

% Upper Bounds diganti sesuai dengan constraint fungsi objektif

UB = [0.0625 0.3125 0.09375 0.291666667 0.333333333

0.010416666666667 ];      % Lower Bounds diganti sesuai dengan  
constraint fungsi objektif

%% PSO Parameters

MaxIt=100;      % Maximum Number of Iterations

nPop=100;      % Population Size (Swarm Size)

% PSO Parameters

w=1;      % Inertia Weight

wdamp=0.99;      % Inertia Weight Damping Ratio

c1=1.5;      % Personal Learning Coefficient

c2=2.0;      % Global Learning Coefficient

% If you would like to use Constriction Coefficients for PSO,

```
% uncomment the following block and comment the above set of
parameters.
```

```
% % Constriction Coefficients
```

```
% phi1=2.05;
```

```
% phi2=2.05;
```

```
% phi=phi1+phi2;
```

```
% chi=2/(phi-2+sqrt(phi^2-4*phi));
```

```
% w=chi;      % Inertia Weight
```

```
% wdamp=1;    % Inertia Weight Damping Ratio
```

```
% c1=chi*phi1; % Personal Learning Coefficient
```

```
% c2=chi*phi2; % Global Learning Coefficient
```

```
% Velocity Limits
```

```
VelMax=0.1*(UB-LB);
```

```
VelMin=-VelMax;
```

```
%% Initialization
```

```
empty_particle.Position=[];
```

```
empty_particle.Cost=[];
```

```
empty_particle.Velocity=[];
```

```
empty_particle.Best.Position=[];
```

```
empty_particle.Best.Cost=[];
```

```
particle= repmat(empty_particle,nPop,1);
```

```
GlobalBest.Cost=inf;
```

```
for i=1:nPop
```

```
    % Initialize Position
```

```
    particle(i).Position=unifrnd(LB,UB,VarSize);
```

```
    % Initialize Velocity
```

```
    particle(i).Velocity=zeros(VarSize);
```

```
    % Evaluation
```

```
    particle(i).Cost=CostFunction(particle(i).Position);
```

```

% Update Personal Best
particle(i).Best.Position=particle(i).Position;
particle(i).Best.Cost=particle(i).Cost;

% Update Global Best
if particle(i).Best.Cost<GlobalBest.Cost

    GlobalBest=particle(i).Best;

end

end

BestCost=zeros(MaxIt,1);

%% PSO Main Loop

for it=1:MaxIt

    for i=1:nPop

        % Update Velocity
        particle(i).Velocity = w*particle(i).Velocity ...
            +c1*rand(VarSize).*(particle(i).Best.Position-
particle(i).Position) ...
            +c2*rand(VarSize).*(GlobalBest.Position-particle(i).Position);

        % Apply Velocity Limits
        particle(i).Velocity = max(particle(i).Velocity, VelMin);
        particle(i).Velocity = min(particle(i).Velocity, VelMax);

        % Update Position
        particle(i).Position = particle(i).Position + particle(i).Velocity;

        % Velocity Mirror Effect
        IsOutside=(particle(i).Position<LB | particle(i).Position>UB);
        particle(i).Velocity(IsOutside)=-particle(i).Velocity(IsOutside);

```

```

% Apply Position Limits
particle(i).Position = max(particle(i).Position, LB);
particle(i).Position = min(particle(i).Position, UB);

% Evaluation
particle(i).Cost = CostFunction(particle(i).Position);

% Update Personal Best
if particle(i).Cost < particle(i).Best.Cost

    particle(i).Best.Position = particle(i).Position;
    particle(i).Best.Cost = particle(i).Cost;

% Update Global Best
if particle(i).Best.Cost < GlobalBest.Cost

    GlobalBest = particle(i).Best;

end

end

end

BestCost(it) = GlobalBest.Cost;

disp(['Iteration ' num2str(it) ': Best Cost = ' num2str(BestCost(it))]);

w = w * wdamp;

end

BestSol = GlobalBest;

%% Results

figure;

```

```

%plot(BestCost,'LineWidth',2);
semilogy(BestCost,'LineWidth',2);
xlabel('Iteration');
ylabel('Best Cost');
grid on;
save ('PSOalone.mat')

```

- Fungsi *Objective*

*function* COPTOTAL=fobjco2foameor (x)

%optimized variable

```

xt1=x(1);
xt2=x(2);
xt3=x(3);
xt4=x(4);
xt5=x(5);
xt6=x(6);

```

```

t1= log(0.7)/-xt1;
t2= log(0.7)/-xt2;
t3= log(0.7)/-xt3;
t4= log(0.7)/-xt4;
t5= log(0.7)/-xt5;
t6= log(0.7)/-xt6;

```

```

M1= 43800/t1;
M2= 43800/t2;
M3= 43800/t3;
M4= 43800/t4;
M5= 43800/t5;
M6= 43800/t6;

```

```

m1=fix(M1);
m2=fix(M2);
m3=fix(M3);
m4=fix(M4);
m5=fix(M5);
m6=fix(M6);

```

```

ti1=t1;

```

ti2=t2;  
ti3=t3;  
ti4=t4;  
ti5=t5;  
ti6=t6;

ct1=440\*m1;  
ct2=440\*m2;  
ct3=440\*m3;  
ct4=440\*m4;  
ct5=440\*m5;  
ct6=440\*m6;

cpm1=19\*m1;  
cpm2=19\*m2;  
cpm3=19\*m3;  
cpm4=19\*m4;  
cpm5=19\*m5;  
cpm6=19\*m6;

ccm1=(-5089\*xt1) + 23780;  
ccm2=(-5089\*xt2) + 23780;  
ccm3=(-5089\*xt3) + 23780;  
ccm4=(-5089\*xt4) + 23780;  
ccm5=(-5089\*xt5) + 23780;  
ccm6=(-5089\*xt6) + 23780;

N1=1;  
N2=1;  
N3=1;  
N4=1;  
N5=1;  
N6=1;

CCM1=xt1\*ccm1\*N1;  
CCM2=xt2\*ccm2\*N2;  
CCM3=xt3\*ccm3\*N3;  
CCM4=xt4\*ccm4\*N4;  
CCM5=xt5\*ccm5\*N5;

$$CCM6=xt6*ccm6*N6;$$

$$CT1=(1/ti1)*ct1*N1;$$

$$CT2=(1/ti2)*ct2*N2;$$

$$CT3=(1/ti3)*ct3*N3;$$

$$CT4=(1/ti4)*ct4*N4;$$

$$CT5=(1/ti5)*ct5*N5;$$

$$CT6=(1/ti6)*ct6*N6;$$

$$CPM1=cpm1*N1/m1;$$

$$CPM2=cpm2*N2/m2;$$

$$CPM3=cpm3*N3/m3;$$

$$CPM4=cpm4*N4/m4;$$

$$CPM5=cpm5*N5/m5;$$

$$CPM6=cpm6*N6/m6;$$

$$COP1=CCM1+CT1+CPM1;$$

$$COP2=CCM2+CT2+CPM2;$$

$$COP3=CCM3+CT3+CPM3;$$

$$COP4=CCM4+CT4+CPM4;$$

$$COP5=CCM5+CT5+CPM5;$$

$$COP6=CCM6+CT6+CPM6;$$

$$COPTOTAL=COP1+COP2+COP3+COP4+COP5+COP6;$$

end

*Halaman ini sengaja dikosongkan*





## BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Zamir Alfajari, lahir di kota Gresik pada tanggal 12 April 1996 dari ayah bernama Abdul Aziz dan ibu bernama Dhuriyatun Muyassarah. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Pada tahun 2008 penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SD NU I Treatee Gresik Pada tahun 2011 telah menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Gresik, pada tahun 2014 menyelesaikan pendidikan

Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 1 Gresik. Pada tahun yang sama, penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis telah aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan diantaranya menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa dengan menjadi Staf PSDM di tahun 2015-2016, menjadi ketua HMTF pada kepengurusan 2016-2017 dan menjadi anggota DPA pada kepengurusan 2017-2018. Penulis pernah menjadi salah satu finalis PIMNAS 28 yang diadakan di universitas haluoleo sulawesi tenggara di tahun 2015.

Konsentrasi tugas akhir yang didalami adalah bidang rekayasa instrumentasi dan kontrol. Pada bulan Juli 2017 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Optimisasi Maintenance Pada Sistem Boiler Feedwater Pada RCM Dengan Menggunakan Algoritma PSO Di Unit 1 PT PJB PLTU Gresik.**

Apabila pembaca ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir, serta memberikan kritik dan saran maka dapat menghubungi penulis melalui email : [zamir.alfajari41@gmail.com](mailto:zamir.alfajari41@gmail.com)